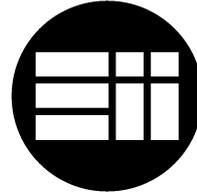




UNIVERSIDAD de VALLADOLID



ESCUELA de INGENIERÍAS INDUSTRIALES

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL, ESPECIALIDAD EN QUÍMICA INDUSTRIAL

PROYECTO FIN DE CARRERA

TRATAMIENTO Y GESTIÓN DE BAÑOS ÁCIDOS DE DECAPADO

Autor:

Domínguez Hernández, Elena

Tutor:

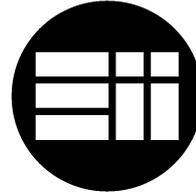
Martínez Marcos, Bernardo

**Ingeniería Química y Tecnología del
Medio Ambiente**

SEPTIEMBRE – 2012



UNIVERSIDAD de VALLADOLID



ESCUELA de INGENIERÍAS INDUSTRIALES

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL, ESPECIALIDAD EN QUÍMICA INDUSTRIAL

PROYECTO FIN DE CARRERA

RESUMEN

TRATAMIENTO Y GESTIÓN DE BAÑOS ÁCIDOS DE DECAPADO

Autor:

Domínguez Hernández, Elena

Tutor:

Martínez Marcos, Bernardo

**Ingeniería Química y Tecnología del
Medio Ambiente**

SEPTIEMBRE – 2012



OBJETIVO Y JUSTIFICACIÓN

El objetivo del presente proyecto es describir y dimensionar una planta de tratamiento físico-químico de residuos ácidos procedentes de baños agotados de decapado.

El decapado es un procedimiento industrial para eliminar la capa superficial de óxidos de hierro, la calamina (carbonato de zinc natural) y partículas metálicas de la superficie del metal base.

Los baños de decapado agotados constituyen actualmente el mayor problema de eliminación en los talleres de galvanizado por inmersión. La problemática medioambiental que presentan estos procesos de decapado y la posterior gestión de residuos son:

- En caso de mala gestión: alta corrosividad peligrosa para el medio ambiente y los colectores cuyos efectos sobre el medio receptor podrían ser:
 - La hidrólisis de las sales ferrosas a hidróxidos ferroso-férricos, insolubles en el agua, da lugar a un sedimento de color ocre.
 - La reducción del oxígeno disuelto en el agua por la reacción anterior disminuye el poder regenerante de los ríos.
 - La proliferación de bacterias ferruginosas que afectan junto a los depósitos ferríticos a la flora y a la fauna.
 - Las concentraciones de hierro en disolución inhabilitan a las aguas para su empleo con fines alimentarios, domésticos e industriales.
- Carácter tóxico, en algunos casos, de los aditivos de decapado.
- Contenidos de metales no férricos (Zn, Cu,...) en los baños de decapado.
- Emisiones gaseosas (gases nitrosos y de HCl) durante el proceso.
- Emisiones líquidas por arrastres a lavados posteriores.
- Alta salinidad y carga orgánica media de los efluentes provenientes del tratamiento físico-químico de los baños agotados.

Para minimizar estos problemas se propone la depuración de los baños agotados mediante procedimientos de inertización o recuperación de los contaminantes específicos para cada ácido.

Ácido clorhídrico

Se puede considerar actualmente varios tipos de gestión:

- *Neutralización*: Se realiza normalmente con lechada de cal y a veces con sosa. Es la única solución económica para baños ácidos con alto contenido de metales pesados (como Zn, Cu, Ni, Cr), contaminación alta de aceites o dilución excesiva en agua.
- *Producción de $FeCl_3$* : Para ello se prestan baños que contengan más de 120 g/l de Fe y menos de 30 g/l de HCl. Tras una saturación con óxido de hierro se

RESUMEN

procede a oxidar el cloruro ferroso a férrico mediante cloro, filtrándose el precipitado.

- *Recuperación térmica del HCl:* aconsejable para todos los baños no contaminados de HCl, es decir que contienen menos de 2 g/l de Zn y Pb. El proceso se desarrolla a 1.200°C y produce HCl y Fe₂O₃.

Ácido sulfúrico

Los residuos de H₂SO₄ a gestionar no tienen actualmente otra salida que la neutralización, posterior floculación, precipitación y concentración.

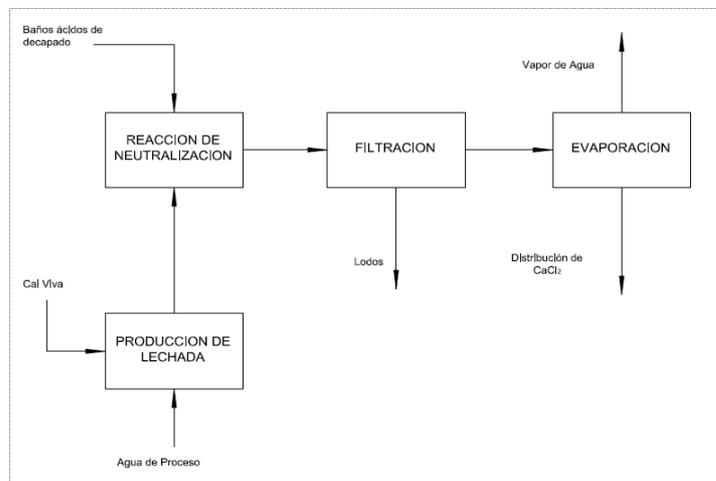
Ácido nítrico, fluorhídrico y mezclas

La gestión de residuos de HNO₃, HF y sus mezclas pasa, conociendo el estado actual de la tecnología, necesariamente por un tratamiento destructivo, esto es la neutralización, precipitación y deshidratación de los fangos resultantes.

Debido a que en la planta a dimensionar se pretende gestionar todo tipo de baños agotados se ha optado por la opción de una planta de neutralización-precipitación, ya que este es el tratamiento común y más económico para todos los baños ácidos.

DESCRIPCION DEL PROCESO

Esta planta de tratamiento se basa en una línea de neutralización-precipitación y filtración de los baños agotados, a la par de estas operaciones se realiza otra de concentración de uno de los productos obtenidos y la fabricación de lechada de cal que se utilizará en la neutralización.



Almacenamiento de Compuestos

Los *baños ácidos agotados* que llegan cada dos días para ser gestionados son almacenados en depósitos horizontales atmosféricos de doble pared acero-acero e instalación aérea, donde esta doble pared, actúa de cubeta en caso de fuga. En el interior irán recubiertos por materiales de vidrio para resistir la corrosión de cada ácido y por el exterior por poliuretano. Los depósitos que se instalan son:



RESUMEN

	Volumen del baño	Volumen del depósito	Cantidad de depósitos	Diámetro	Longitud
HCl	38,4 m ³	40 m ³	2	2,5m	8,58m
H₂SO₄	16,7 m ³	40 m ³	1	2,5m	8,58m
HNO₃	3,48 m ³	7,5 m ³	1	1,75m	3,41m

Para la fabricación de la lechada de cal necesaria para la neutralización se compra *cal viva* cada 4 días en camiones volquete de 25 toneladas, la cual se almacena en un silo de tipo flujo másico recubierto en su interior con elementos vitrificados para evitar la abrasión producida por el movimiento del sólido. Debido a que la cal es un material higroscópico, la parte superior del silo irá cerrada y equipada con una chimenea o tubo que descomprima el interior de la sobrepresión producida por el llenado y esta chimenea a su vez unida a un filtro de mangas para minimizar las emisiones de polvo a la atmósfera. Por la parte inferior hay instalada una tolva con un ángulo de 25° y vibradores en las paredes para favorecer la salida de cal. Esta tolva a su vez irá unida a un dosificador sin fin que lleva la cal hasta el apagador.

El silo tendrá las siguientes dimensiones: volumen=43m³, diámetro=3m, altura=6,1m.

Producción de Lechada de Cal

Para la neutralización de los baños se utiliza lechada de cal, parte de ella obtenida como un subproducto de una planta de fabricación de acetileno y lo restante se elabora en planta, necesitando producir a mayores 38,149 m³ de lechada diaria.

Para elaborar la lechada de cal, inicialmente se apagan 6,128 toneladas de cal viva en un apagador, al cual llegan a través de un dosificador sin fin a una velocidad de 2m³/h, con 24,510 toneladas de agua, ya que el apagador mantiene una relación de 4 partes de agua por 1 de cal. Por lo tanto, el apagador utilizado apaga 300kg de cal cada 10 minutos, tardando en realizar la operación entera 3,4 horas y controlando en todo momento la temperatura del apagado, que es la característica principal a controlar en este proceso debido a que es exotérmico.

Esta cal apagada pasa a un de tanque de almacenamiento de 21m³ donde es diluida con 15,142m³ de agua, a una velocidad de 4,2m³/h para que la cal apagada sea diluida progresivamente desde que sale del apagador, hasta obtener una lechada de la misma densidad que la lechada recibida del proceso de acetileno. Desde ese tanque, parte de la lechada de cal pasa al otro tanque de 21m³ donde únicamente será almacenados 18,750m³ de los 38,149m³ totales. Este proceso se realizará mediante una bomba de 7,5m³/h a partir de los 20 minutos de haber empezado el apagado.

Ambos tanques de 21m³ y el tanque de 14 m³, utilizado para almacenar la lechada procedente del proceso de acetileno, se han dimensionado para mantener la lechada de cal con una agitación suave (30rpm) durante las 24 horas que permanecerá en ellos. Sus características finales son:



RESUMEN

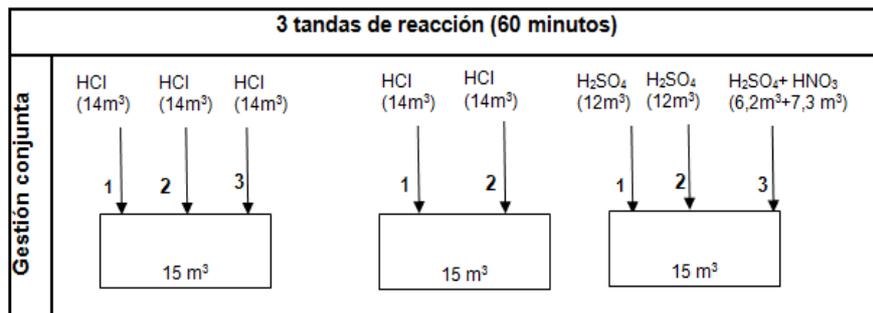
	Tanque de 21 m ³	Tanque de 14 m ³
Diámetro	3 m	2,5 m
Altura	3 m	2,9 m
Características del Agitador		
Diámetro de Rodete	1,8 m	1,5 m
Anchura de las Palas	0,3 m	0,25 m
Potencia	4,82 kW	1,94 kW

Proceso de Neutralización-Precipitación

En la neutralización de los baños ácidos se producen las siguientes reacciones.

	Reacción	Volumen de baño	Volumen de lechada de cal para neutralizarlo
Baño de HCl	$2\text{HCl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	38,400m ³	33,265m ³
	$\text{FeCl}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{Fe}(\text{OH})_2$		
Baño de H₂SO₄	$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	16,667m ³	13,529m ³
	$\text{FeSO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{Fe}(\text{OH})_2$		
Baño de HNO₃	$2\text{HNO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	3,478m ³	3,856m ³
	$2\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 3\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Fe}(\text{OH})_3$		

Debido a los altos volúmenes que se manejan, se han elegido reactores de 15m³, ya que es el volumen que más se adecuaba a todas las etapas.



En el proceso se neutraliza el baño más voluminoso, el de HCl, del que se puede obtener un subproducto aprovechable en dos reactores de 15m³ y 5 etapa. Los baños de H₂SO₄ y HNO₃ se neutralizan en un único reactor, en el cual se llevarán a cabo dos etapas de H₂SO₄ y otra etapa donde se gestiona conjuntamente el sobrante de H₂SO₄ y el total de HNO₃. Se realiza de esta manera ya que de estos dos últimos baños no se puede recuperar nada y su volumen total es suficientemente pequeño como para hacerlo en un único reactor.

Los reactores son de acero inoxidable recubiertos en su interior por materiales de vidrio, con el fondo curvado y rasquetas en este para que en el proceso de descarga



RESUMEN

no quede ningún sedimento. Incorporan también, cuatro deflectores de 0,25m en la pared interior y agitadores de 6 palas curvas que giraran a una velocidad de 100rpm. Los reactores no necesitan ir encamisados y su tiempo de residencia será de 20 minutos, suficiente para que se neutralice todo el baño y precipiten los productos férricos.

	Reactor de 15m ³
Diámetro	2,5 m
Altura	3,1 m
Diámetro de Rodete	0,75 m
Anchura de las Palas	0,13 m
Potencia	6,33 kW

Proceso de Filtración

Para la filtración se han instalado filtros prensa de placas y marcos de ciclo rápido, que filtran de forma discontinua los baños entre etapas de reacción ofreciendo una ventaja de tiempo para el proceso.

Los precipitados obtenidos en este proceso son productos férricos de una alta viscosidad y velocidad de sedimentación, por lo que se eligen filtros de ciclo rápido en los cuales se introduce la alimentación por la parte superior y no por el centro, siendo esta la única manera de que la torta se complete de forma correcta y de recuperar el filtrado más fácilmente. Se instalan: 1 filtro prensa, por cada reactor de neutralización de HCl de las mismas características, otro filtro para los baños neutralizados de H₂SO₄ exclusivamente y otro para el filtrado del baño conjunto de H₂SO₄ y HNO₃.

Baño Neutralizado	Modelo	Nº de tortas	Superficie filtrante (m ²)	Sólidos torta (g/l)	Volumen torta (l)	Sólidos torta (kg)	Duración del ciclo (min)
HCl	APN16 Q	4	14,6	1201	292	350	18
H ₂ SO ₄	APN16M10	10	36,5	1161	729	847	18
H ₂ SO ₄ +HNO ₃	APN16M12	12	43,7	1147	875	1003	29,7

Proceso de Evaporación

El filtrado obtenido del baño de HCl es una solución de CaCl₂ la cual tiene numerosas aplicaciones químicas, farmacológicas y en los últimos días, culinarias. Para poder comercializar esta solución de cloruro cálcico es necesario concentrarla, ya que, del proceso de filtrado se obtiene al 9% y para su venta se requiere, como mínimo, al 35%.

Para poder realizar esta concentración se instala un depósito pulmón que almacene el filtrado, proporcionando autonomía al evaporador que trabaja en continuo y homogenizando la solución obtenida, con un volumen de 75,5m³ y dimensiones de 4,5m de diámetro y 4,7m de alto. A esto depósito le sigue un evaporador de 3 efectos.



RESUMEN

En este tipo de evaporadores el vapor formado en el primer efecto es utilizado para calentar el segundo y así sucesivamente, esto hace que el gasto de vapor vivo sea muy inferior al necesario en una evaporación simple, por lo que se ha elegido este tipo de evaporador de múltiple efecto. En el diseño de estos evaporadores se busca que todos los efectos tengan la misma área de intercambio variando la diferencia de temperaturas entre éstos, obteniendo para un flujo inicial de solución de cloruro cálcico de 24000kg/h las siguientes características para cada efecto del evaporador:

Características	Efecto 1	Efecto 2	Efecto 3
ΔT (°C)	101	85	33,5
Q (Kcal/h)	4.834.520	2.909.720	3.220.267
Flujo vapor (kg/h)	5404,4	5872,1	3530,6
Flujo concentrado(kg/h)	18595,6	12723,5	9192,9
Área	87,7	87,1	87,4

PRESUPUESTO

El estudio económico determina la viabilidad económica del proyecto arrojando resultados positivos en este caso:

- Inversión Inicial = 2.671.040,57€, suma del coste de construcción de la planta, más los equipos adquiridos y sus partidas.
- Costes Anuales = 14.044.935,52€, que comprenden los gastos de materias primas (cal viva, agua, combustible y potencia), más los gastos de personal y los de mantenimiento.
- Ingresos Anuales = 15.723.600,00€, obtenidos por la gestión de los baños ácidos y la venta de la solución de cloruro de calcio al 35%

Teniendo en cuenta estos datos y que se pide un préstamo al 7% de interés a devolver en 20 años del valor de la inversión inicial, se obtiene un Valor Actual Neto (VAN) de 12.390.178,11€ y una rentabilidad media anual (TIR) del 34%, lo cual certifica que es un proyecto viable y rentable.

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y DE SEGURIDAD

A pesar del enorme impacto ambiental que tienen los baños ácidos de decapado, con este proyecto se disminuye notablemente su impacto sobre el medio y se consigue gestionar éstos baños sin producir residuos altamente contaminantes.

La construcción de la planta sólo produce el impacto ambiental frecuente en la construcción de este tipo de edificaciones.

El estudio de seguridad de este proyecto determina las normas de seguridad y medidas preventivas tanto durante la explotación y construcción de la planta, como la identificación de las zonas de proceso de mayor riesgo de incendio o explosión, calculadas a partir del índice Dow de fuego y explosión.



INDICE DE CONTENIDOS

MEMORIA	1
OBEJETIVOS	1
ANTECEDENTES	1
HISTORIA DE LA METALURGIA	1
EL SECTOR SIDEROMETALÚRGICO	2
<i>La industria metalúrgica</i>	3
<i>El nacimiento de la siderurgia en España</i>	4
DATOS ACTUALES	6
INDUSTRIA DEL ACERO GALVANIZADO	7
GALVANIZACIÓN EN CALIENTE	13
<i>Galvanización en caliente por procedimiento continuo</i>	13
<i>Galvanización en caliente por procedimiento discontinuo</i>	15
<i>Descripción de las etapas</i>	17
<i>Aplicaciones</i>	21
PROCESO DE DECAPADO	22
DESCRIPCIÓN	22
TIPOS DE DECAPADO	22
DECAPADO QUÍMICO	23
<i>Tipos de decapado químico</i>	25
BAÑOS AGOTADOS DE DECAPADO	27
PROBLEMÁTICA MEDIOAMBIENTAL DEL PROCESO DE DECAPADO	29
GESTIÓN DE LOS BAÑOS DE DECAPADO AGOTADOS	31
DESCRIPCION DEL PROCESO ELEGIDO	34
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA PLANTA	34
TEORIA DE AGITACIÓN	35
<i>Clases de agitadores</i>	36
<i>Tipos principales de agitadores</i>	37
<i>Potencia consumida en tanques agitados</i>	39
ALMACENAMIENTO DE COMPUESTOS	43
<i>Almacenamiento de Cal Viva</i>	43
<i>Almacenamiento de los baños ácidos de decapado</i>	45



<i>Almacenamiento lechada de cal</i>	47
PRODUCCIÓN DE LECHADA DE CAL	47
<i>Teoría del apagado de Cal Viva</i>	47
<i>Factores que afectan al proceso de apagado</i>	48
<i>Características del apagador</i>	51
PROCESO DE NEUTRALIZACIÓN-PRECIPITACIÓN	54
<i>Características de los Reactores</i>	55
PROCESO DE FILTRACIÓN	55
<i>Características del filtro</i>	56
PROCESO DE CONCENTRACIÓN	58
<i>Características del depósito pulmón</i>	59
<i>Características del evaporador</i>	60
CÁLCULOS	65
DATOS DE PARTIDA	65
PRODUCCIÓN DE LECHADA DE CAL	65
CÁLCULO DE CAL APAGADA	66
PRODUCCIÓN DE LECHADA DE CAL	68
CARACTERÍSTICAS DEL APAGADOR	69
ALMACENAMIENTO DE COMPUESTOS	74
ALMACENAMIENTO DE CAL VIVA	75
ALMACENAMIENTO DE LOS BAÑOS ÁCIDOS DE DECAPADO	77
ALMACENAMIENTO LECHADA DE CAL	78
<i>Agitadores para los tanques de lechada de cal</i>	79
REACCIÓN DE NEUTRALIZACIÓN-PRECIPITACIÓN	82
OPCIÓN 1	83
OPCIÓN 2	84
OPCIÓN 3	85
<i>Conclusión</i>	85
DIMENSIONES DE LOS REACTORES	87
<i>Diseño del Agitador</i>	88
<i>Entalpía de Reacción</i>	89
PROCESO DE FILTRACIÓN	91



CANTIDAD DE PRECIPITADOS	91
CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO	96
PROCESO DE CONCENTRACIÓN	99
DEPÓSITO PULMÓN	100
EVAPORADOR	102
<i>Diseño del evaporador</i>	102
PRESUPUESTO	111
EVALUACIÓN ECONÓMICA	111
COSTES FIJOS DE CAPITAL O DE INMOVILIZADO	111
<i>Estimación del inmovilizado</i>	111
<i>Partida de Presupuesto</i>	112
<i>Partida de Equipo</i>	112
COSTES DE OPERACIÓN	115
<i>Estimación del capital circulante</i>	115
CAPITAL TOTAL	117
INGRESOS	117
CÁLCULO DE LA RENTABILIDAD	118
CONDICIONES DEL PRÉSTAMO	118
CÁLCULO DEL VAN (VALOR ACTUALIZADO NETO)	118
<i>Flujo de Caja Actualizado:</i>	119
<i>VAN (Valor Actual Neto):</i>	120
<i>TIR (Tasa Interna de Rentabilidad):</i>	120
PLANOS	123
DIAGRAMA DE BLOQUES	123
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO	123
DIAGRAMA P&I	123
DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	123



PLIEGO DE CONDICIONES	124
DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL PLIEGO	124
OBJETO	124
DOCUMENTOS QUE DEFINEN LAS OBRAS	124
COMPATIBILIDAD Y RELACIÓN ENTRE DICHOS DOCUMENTOS	125
CONDICIONES GENERALES	125
ALTERACIONES DEL PROGRAMA DE TRABAJO	126
CONDICIONES FACULTATIVAS	127
CONDICIONES FACULTATIVAS LEGALES	127
ACTIVIDADES Y OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA	128
FACULTADES DE LA DIRECCIÓN TÉCNICA	132
TRAMITACIÓN	132
RESPONSABILIDADES ADMINISTRATIVAS	133
SEGURIDAD EN EL TRABAJO	134
SEGURIDAD PÚBLICA	135
ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO	135
DATOS DE LA OBRA	135
DOCUMENTACIÓN CONFORME A OBRA	136
CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE LAS OBRAS	136
PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO	137
<i>Interrupción de los trabajos</i>	137
<i>Reanudación de los trabajos</i>	137
<i>Terminación de las obras</i>	138
<i>Uso de la construcción</i>	138
REPLANTEO GENERAL DE LA OBRA	138
MEJORAS Y VARIACIONES DEL PROYECTO	140
RECEPCIÓN DE MATERIAL	140
ORGANIZACIÓN	140
EJECUCIÓN DE LA INSTALACIÓN	141
SUBCONTRATACIÓN DE OBRAS	142
PLAZO DE EJECUCIÓN	142
CUMPLIMIENTO DE LOS CONTRATOS Y RECEPCIÓN	143
PERÍODOS DE GARANTÍA	143
PAGO DE OBRAS	144



<i>Abono de materiales acopiados</i>	144
CONDICIONES LEGALES	145
EJECUCIÓN Y ADJUDICACIÓN DE LA OBRA	145
RECEPCIÓN DE OBRAS	146
OBLIGACIONES Y RESPONSABILIDADES DE LA CONTRATA	147
RESCISIÓN DE CONTRATO	149
CONDICIONES ECONÓMICAS	150
CUMPLIMIENTO DE LA FIANZA	150
REVISIÓN DE PRECIOS	150
OBRAS CONTRATADAS POR ADMINISTRACIÓN	151
VALORACIONES	152
DISPOSICIONES VARIAS	154
CONDICIONES TÉCNICAS	155
CONDICIONES QUE HAN DE CUMPLIR LOS MATERIALES	155
DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINARIA A INSTALAR	156
CONDICIONES QUE DEBERÁ CUMPLIR LA MAQUINARIA	157
TRANSPORTE Y MONTAJE	157
PLAZOS DE ENTREGA	158
PRUEBAS DE MAQUINARIA	158
PLAZO DE GARANTÍA	158
ESTUDIO DE SEGURIDAD	160
INTRODUCCIÓN	160
CLASIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE RIESGOS LABORALES	164
DATOS DE SEGURIDAD DE LAS PRINCIPALES SUSTANCIAS IMPLICADAS EN EL PROCESO	165
<i>Ácido Clorhídrico</i>	165
<i>Ácido Sulfúrico</i>	167
<i>Ácido Nítrico</i>	170
<i>Lechada de Cal</i>	173
ANÁLISIS DE RIESGOS	174
ÍNDICES DE RIESGO	176
<i>Índice Dow de fuego y explosión</i>	177
<i>Determinación del índice de fuego y explosión para cada unidad</i>	181



<i>Conclusiones finales</i>	184
OTRAS CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD	185
PROTECCIONES COLECTIVAS	185
CONTROL DE RIESGOS	187
INSTRUCCIÓN Y ENTRENAMIENTO DE PERSONAL	189
EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL	190
<i>Protección Para los Ojos</i>	190
<i>Protección Respiratoria</i>	191
<i>Protección Para la Cabeza</i>	192
<i>Protección Para los Pies</i>	192
<i>Protección del Cuerpo, de la Piel y de las Manos</i>	192
<i>Recomendaciones para Uso y Conservación del Equipo</i>	193
ROTULACIÓN E IDENTIFICACIÓN	193
REPARACIÓN Y LIMPIEZA DE TANQUES Y EQUIPOS	194
INSPECCIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS	194
<i>a) Recipientes a presión y sus interiores</i>	195
<i>b) Cambiadores de calor (Carcasa y tubos)</i>	195
<i>c) Bombas</i>	196
<i>d) Tuberías y accesorios</i>	196
<i>e) Instrumentación</i>	196
MEDIDAS PREVENTIVAS	198
ESTUDIO DE SEGURIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN	198
PROCEDIMIENTOS GENÉRICOS DE SEGURIDAD Y SALUD	198
<i>Aspectos genéricos aplicables durante la ejecución de la obra</i>	198
<i>Normas mínimas de seguridad y salud a emplear durante la ejecución</i>	200
<i>Instalaciones de suministro energético</i>	200
<i>Confort para el trabajador</i>	201
<i>Zonas de paso y puntos de peligro</i>	202
<i>Situaciones de emergencia</i>	203
<i>Instalaciones anexas para uso personal del obrero</i>	203
<i>Disposiciones especiales para los trabajadores discapacitados</i>	204
<i>Desprendimiento de materiales</i>	204
<i>Riesgo de caídas</i>	205
<i>Andamiajes y escaleras</i>	205
<i>Elevadores automáticos</i>	206
<i>Instalaciones, máquinas y equipos</i>	207



<i>Disposiciones varias</i>	208
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	210
GENERALIDADES	210
COMPRESIÓN Y CONCIENCIACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	210
NORMATIVA EUROPEA, NACIONAL Y AUTONÓMICA	211
<i>Europa</i>	212
<i>España</i>	212
<i>Castilla y León</i>	213
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	214
CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO	214
LOCALIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES	215
DESCRIPCIÓN DEL MEDIO	216
CLIMA	216
GEOLOGÍA	217
HIDROLOGÍA	217
SUELO	218
FLORA Y FAUNA	218
EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO	219
FACTORES ATMOSFÉRICOS	219
<i>Emisiones</i>	219
<i>Olores</i>	220
<i>Ruidos y Vibraciones</i>	220
FACTORES VISUALES	220
FACTORES DE AGUA	221
<i>Calidad Biológica</i>	221
<i>Calidad físico-química</i>	221
<i>Acuíferos subterráneos</i>	221
<i>Vertido a red de saneamiento público</i>	222
FACTORES DE GENERACIÓN DE RESIDUOS	222
<i>Generación</i>	222
<i>Almacenamiento</i>	223
<i>Gestión</i>	223
FACTORES ENERGÉTICOS	223



<i>Empleo de la energía</i>	224
<i>Recuperación</i>	224
ACCIONES GENERADORAS DE IMPACTO	224
<i>Construcción</i>	224
<i>Explotación</i>	225
EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL	226
<i>Generación de RSU</i>	227
<i>Generación de RTPs</i>	227
<i>Gastos energéticos</i>	228
<i>Ruidos y vibraciones</i>	228
<i>Polvo y partículas en suspensión</i>	229
<i>Emisiones</i>	229
<i>Alteración de suelos</i>	229
MEDIDAS CORRECTORAS	230
EXCAVACIONES Y OBRAS DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	230
GENERACIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS	231
EMISIONES A LA ATMÓSFERA	232
GASTO ENERGÉTICO	232
EFLUENTES DE AGUA	233
POLVO	233
RUIDO Y VIBRACIONES	233
BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA	235
ANEXOS	238



MEMORIA

OBEJETIVOS

El objetivo del presente proyecto es describir y dimensionar una planta de tratamiento físico-químico, que principalmente recibe residuos ácidos procedentes del decapado de la industria del tratamiento superficial de metales.

En líneas generales, el tratamiento de la planta propuesta consta de una línea de neutralización – precipitación, seguida de un proceso de filtración del efluente y una posterior concentración de uno de los productos.

Para el tratamiento de neutralización-precipitación se utilizará lechada de cal, de la cual parte de ella se recibe como subproducto del proceso de fabricación de acetileno de otras empresas.

También se estudiará la posibilidad de comercializar los productos finales obtenidos de la neutralización de los baños ácidos agotados, así como el producto concentrado de uno de los baños.

ANTECEDENTES

Historia de la metalurgia

La Edad de la Piedra termina con el periodo Neolítico y a continuación se inicia la Edad de los Metales, llamada así porque el hombre inventó **la metalurgia**, a la que se consideró el avance tecnológico decisivo y definitorio de la nueva etapa cultural y uno de los hitos fundamentales para constatar el avance del progreso humano.

Dentro de este periodo se distinguen tres grandes épocas, la primera fase se denomina **Edad de Cobre o Calcolítico** (calcós = cobre; litos = piedra) durante



la que el hombre descubrió el cobre y comenzó a trabajarlo, aunque el uso de este metal todavía sería minoritario y la mayoría de las herramientas seguían siendo de piedra, de ahí que a la Edad del Cobre también se le llame Calcolítico.; la segunda etapa es la **Edad del Bronce**, durante la cual se desarrolló la metalurgia de este metal, que sería la primera aleación obtenida por el hombre (aleación de cobre y estaño). Durante milenios fue la aleación básica para la fabricación de armas, utensilios, joyas, medallas y esculturas. Así como monedas que tuvieron un protagonismo relevante en el comercio y la economía mundial; por último, se desarrolló la **Edad del Hierro** que tradicionalmente se estableció su inicio sobre el 750 a. C., coincidiendo con la aparición de dicho metal en alguna de las regiones europeas. Lógicamente su utilización no fue repentina ni se produjo en todos los lugares a la vez, puesto que a pesar del perfecto conocimiento técnico alcanzado por los metalurgistas del bronce, el trabajo del nuevo metal implicaba algunas variaciones como la adaptación de los hornos a mayor temperatura, la necesidad de purificar de escorias y, sobre todo, la imposibilidad de colar el metal fundido en moldes de piedra, como el cobre o el bronce, siendo necesario dar la forma a la pieza deseada por martilleo en caliente y luego templarla, enfriándola bruscamente en agua fría para obtener mayor dureza. A pesar de tener que adaptarse a estas nuevas formas de trabajar el metal, la abundancia de fuentes de mineral de hierro, lo convirtieron en un material mucho más deseable y barato de que el bronce, lo que contribuyó de forma decisiva a su adopción como el metal más usado.

El sector siderometalúrgico

El devenir durante casi un siglo de la siderurgia integral española tradicional localizada principalmente en el País Vasco y Asturias, estuvo ligado al mercado nacional, al margen de toda actividad internacional. Y si bien su desarrollo hasta mediados los años 70 fue próspero, permanecía aislado y ajeno a las condiciones y exigencias del mercado internacional, debido al fuerte proteccionismo estatal. La crisis de mediados de los setenta, y la posterior



incorporación española a la Comunidad Económica Europea pusieron de manifiesto las deficiencias estructurales que el aislamiento de la industria siderúrgica española había provocado. Así se produjo una situación crítica que hacía muy difícil el mantenimiento de la siderurgia como hasta entonces, produciéndose la necesidad de adaptar la siderurgia integral para competir en un entorno internacional y de relaciones y actividades transnacionales.

La industria metalúrgica

Las primeras fábricas metalúrgicas se crearon en Barcelona por las demandas de la producción industrial. A partir de 1880, coincidiendo con la expansión siderúrgica, también la metalúrgica vasca se desarrolló significativamente.

La industria metalúrgica española no podía competir ni en tecnología ni en capitales con las empresas de fuera. Estas elaboraron la inmensa mayoría de las construcciones mecánicas (locomotoras, máquinas industriales, barcos de hierro, etc). La industria autóctona se concentró en las construcciones metálicas: puentes, edificios industriales, mercados, etc. La falta de una abundante materia prima también perjudicó la industria metalúrgica del país, aunque partir de 1880 las condiciones empezaron a cambiar.

Por una parte, la siderurgia vasca obtuvo pronto unos altos índices de producción y permitió que las fábricas metálicas dispusieran de grandes cantidades de hierro en buenas condiciones. Por otra, durante los dos últimos decenios del siglo XIX, el interés por la modernización de la marina de guerra permitió el desarrollo de la construcción naval.

Durante esas dos décadas la industria metalúrgica autóctona obtuvo la madurez tecnológica necesaria para la producción de construcciones mecánicas.



El nacimiento de la siderurgia en España

Tradicionalmente la falta de desarrollo industrial en España motivaba que la demanda de acero existente en nuestro país en el siglo XIX fuese cubierta prácticamente en su totalidad por una producción de tipo casi artesanal, no incentivando al capital privado a fijar el Horno Alto como alternativa a la producción de acero en ferrerías hasta bien entrado el siglo XIX.

El desarrollo económico de este siglo genera nuevas demandas de hierro:

- Para la industria textil (máquinas).
- Para la agricultura (herramientas).
- Para la construcción (puentes y obras de ingeniería, fábricas y mercados).
- Sobre todo para el ferrocarril.

Es ya a mediados de este siglo XIX cuando los altos hornos comenzaron a funcionar, los cuales utilizaban el mineral de carbón (hulla o lignitos), sustituyendo a los antiguos hornos tradicionales que se calentaban con carbón vegetal. Esta innovación se vio apoyada por la minería del carbón y del hierro que favorecía la captación de capital extranjero y por la generación de capitales propios, sobre todo en Asturias y el País Vasco.

Los enormes beneficios de la siderurgia vasca, gracias a la desfavorable influencia de las guerras carlistas en el País Vasco permitieron una diversificación empresarial, con la creación de bancos y de compañías navales.

En este contexto a principios del siglo XX surgen siderurgias con capitales privados, próximas a las cuencas carboníferas del noroeste peninsular y a los yacimientos férricos del País Vasco. Así se crean varias acerías eléctricas entre las que destacan Duro Felguera, la Sociedad Fábrica Mieres, Patricio Etxebarria... y en 1901 de la integración de tres sociedades vizcainas (La Vizcaya, AHB y La Iberia) surge la acería integral Altos Hornos de Vizcaya (AHV) que lideró el sector siderúrgico español hasta bien entrada la segunda mitad del siglo XX.



La siderurgia española atravesó por etapas de diferente esplendor, llegando a alcanzarse en 1929 la producción de millón de t de acero, que disminuyeron a la mitad en 1940, tras la guerra civil.

En estos años cuarenta el Estado Español no hizo frente a los principales problemas que aquejaban al sector, esta dejación de responsabilidades vino motivada por su nulo deseo de ir contra los intereses de las siderurgias privadas dominantes, lo cual favorecía el monopolio y eliminaba el estímulo que podrían haber supuesto las importaciones para la modernización y la renovación del sector.

Ante la evidencia de la ineficacia de las medidas aplicadas, y para evitar que la deficiente estructura productiva del sector estrangulara el despegue económico de otros sectores, el Estado consideró precisa la creación de una empresa siderúrgica moderna, y se declaró al sector de Industria de Interés Nacional, dictando el 15 de Julio de 1950 un decreto que encargaba al Instituto Nacional de Industria (INI) la construcción de la Empresa Nacional Siderúrgica S.A., (ENSIDESA) de capital totalmente público en Avilés (Asturias) que arrancó su primer horno en 1957, pasando a ser la siderurgia española líder del mercado.

Esta política siderúrgica aplicada en España hasta finales de los años 70, fue una de las principales causas de la grave crisis que atravesó el sector durante las últimas décadas, culminando en en Mayo de 1981, después de muchas medidas apagafuegos, en un Decreto para la Siderurgia Integral. El decreto recogía medidas financieras de apoyo público a la siderurgia integral, medidas de política comercial y de inversión, medidas laborales y la necesidad de presentar un Plan de Actuaciones Urgente que sería controlado por una Comisión de Coordinación.

Los años comprendidos hasta los 90 fueron un ir y venir de decretos para sacar a flote a la industria siderúrgica en España, hasta que a principios de la década de los 90 el Banco de Crédito Industrial (BCI), de capital público, se convirtió en accionista de AHV(Altos Hornos de Vizcaya) y en 1991 el Instituto Nacional de Industria (INI) y el BCI constituyeron la Corporación de la Siderurgia Integral (CSI), creada para gestionar conjuntamente las dos siderurgias españolas más



importantes, las hasta entonces rivales ENSIDESA (Empresa Nacional Siderúrgica S.A.) y AHV, y los activos económicos del grupo Marcial Ucin S.A.

En menos de cinco años, la siderurgia integral española, ligada en ese momento a la CSI volvía a presentar beneficios en sus cuentas, consolidándose financieramente y presentando garantías de continuidad en el negocio, al tener en su balance recursos propios en torno a 225.000 millones de pesetas, y con la obtención de unos beneficios antes de impuestos de 29.146 millones de pesetas en 1995.

Datos actuales

La crisis que sufrimos en nuestro país desde hace 4 años también ha afectado a la industria de la siderurgia en España llegando a cerrar el ejercicio de 2009 con un índice de producción del -24.6%, una caída estrepitosa que se vio mejorada en 2010 con un cierre en un 0.3%, aunque por debajo de las expectativas creadas pero en positivo. A pesar de este incremento el cierre de 2011 ha vuelto a traer un índice de producción negativo para este sector (-3.1%).

Pese a los malos datos de la industria siderúrgica en general, existe un campo dentro de ella que ha podido sortear la crisis durante este último año, este es el campo del acero galvanizado, el cual aumentó su volumen de producción en España un 3,2% hasta situarse en casi el 10% del acero de estas características que se comercializa en nuestro país. Las plantas galvanizadoras de todo el territorio nacional han generado 640 mil toneladas de acero galvanizado. Este dato confirma que en 2011 este subsector ha sorteado la crisis, fruto del empuje de su uso en la rehabilitación de edificios y en la construcción de plantas de energías renovables, principalmente energía termosolar.

INDUSTRIA DEL ACERO GALVANIZADO

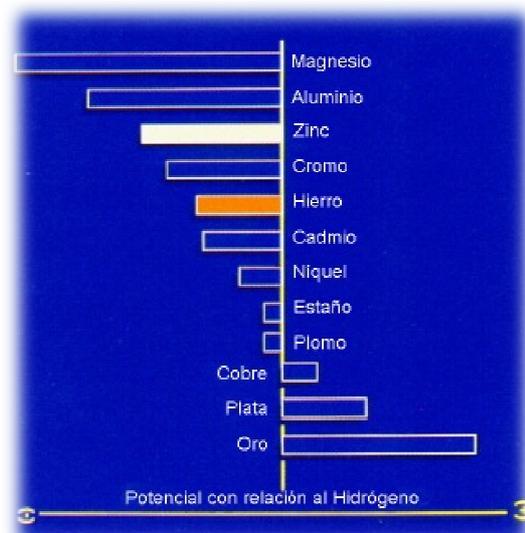
El galvanizado en caliente se utiliza desde hace más de 100 años para proteger el acero de la corrosión, y teniendo en cuenta que el costo de la corrosión del acero en España supone el 2,2% del PIB, más de 25.000 millones de euros, frente al 0,8% o 0,9% de los países de nuestro entorno, esta técnica tiene una gran importancia en nuestros días dentro de la industria de los metales, ya que este proceso de acondicionamiento de los materiales siderúrgicos es una de las principales vías para evitar la corrosión de una forma barata y sencilla.

El galvanizado tiene como principal objetivo evitar la oxidación y corrosión que la humedad y la contaminación ambiental pueden ocasionar sobre el hierro, recubriendo los aceros de una capa de zinc que les protege frente a estos agentes ambientales.

Este proceso se puede realizar en caliente o en frío por distintas técnicas.

La película de zinc que se forma sobre el acero lo protege de dos maneras, protección de barrera y protección galvánica (catódica). Es este último tipo de protección la que permite que productos de acero puedan permanecer sin corrosión durante décadas.

La protección catódica se explica por la ordenación de los metales de conformidad con sus potenciales normales, constituyendo la serie galvánica (que se representa de forma simplificada en la Figura 1). Los metales situados por encima del hierro, como es el caso del zinc, se denominan anódicos respecto al hierro. Esto significa que estos metales anódicos puestos en contacto con el hierro, constituirán el ánodo de la pila de



de potenciales
de los metales.

corrosión que puede formarse en presencia de humedad y oxígeno, y será en este ánodo en donde se experimente la oxidación, mientras que el hierro, que constituirá la parte catódica de dicha pila, permanecerá inalterado.

Los recubrimientos de zinc ejercen una activa protección sobre las piezas y elementos de hierro y acero sobre los que se aplican, pudiéndose asegurar que mientras exista zinc remanente sobre la superficie de dichas piezas el acero base de las mismas permanecerá inalterado. Por otra parte, los recubrimientos de zinc proporcionan al acero una protección de tipo barrera muy eficaz, debido a que con la humedad y anhídrido carbónico del aire, el zinc forma sobre su superficie una capa de pasivación autoprotectora de carbonatos básicos de zinc muy insoluble, compacta y adherente y que es la causa de que la velocidad de corrosión del zinc sea de 10 a 30 veces inferior a la del acero.

Debido al efecto de protección catódica, en las piezas de acero así protegidas, no se oxidan las pequeñas zonas desnudas del recubrimiento que puedan producirse como consecuencia de golpes o rozaduras durante el transporte o montaje de estas (Figura 2).



Figura 2. Protección catódica del zinc sobre el acero de base.

El galvanizado se utiliza extensivamente en la fabricación de una gran variedad de productos que requieren protección contra la corrosión, sus usos principales están en el acero estructural utilizado en obras públicas y viales, torres de



transmisión y comunicaciones y estructuras en áreas: Químicas, construcción, tratamiento de aguas, transporte, recreación, marina, agrícola, minera, etc.

Eso sí, aunque la lista de aplicaciones del galvanizado sea muy extensa, la vida protectora de un galvanizado está determinada primordialmente por el espesor del recubrimiento (de forma proporcional) y la severidad de las condiciones de exposición.

Estas condiciones incluyen ambientes atmosféricos clasificados como altamente industriales, moderadamente industriales (urbanos), suburbanos, rurales y marinos.

TIPO DE ATMÓSFERA	ESPESOR DE ZINC EN MICRONES											
	10	20	33	43	53	66	76	86	96	106	119	129
AÑOS DE PROTECCIÓN HASTA 5% DE OXIDACIÓN DE LA SUPERFICIE												
RURAL	7	12	19	25	31	38	43	50	57	62	68	74
MARINO TROPICAL	5	10	15	20	24	29	33	39	43	48	53	58
MARINO TEMPLADO	4	9	13	17	21	26	30	35	39	43	48	51
SUBURBANO	3	6	10	14	18	21	24	29	32	36	40	42
MODERADAMENTE INDUSTRIAL	2	4	8	11	14	18	21	24	28	31	34	38
INDUSTRIAL PESADO	1	2	4	7	9	11	13	15	15	19	21	22

Figura 3. Protección por años según espesor de zinc y tipo de atmósfera

En la corrosión de los galvanizados influyen muchos factores. Los siguientes, dentro de la amplia clasificación de los ambientes atmosféricos, son los que más influyen.

- *Ambientes Industriales y Urbanos:* En esta clasificación de exposición atmosférica están comprendidas las emisiones industriales generales tales como gases sulfurosos, neblinas y vapores corrosivos que se liberan inadvertidamente de las plantas químicas, refinerías y plantas de procesamiento similares. Las condiciones de corrosión más agresivas puede esperarse que ocurran en áreas de actividad industrial intensa donde el recubrimiento frecuentemente está expuesto a la lluvia, a una



condensación o a la nieve. En estas áreas, los compuestos de azufre se combinan con la humedad del aire y convierten los normalmente impermeables óxidos y carbonatos de zinc en sulfito de zinc y sulfato de zinc. Debido a que estos compuestos de zinc-azufre son solubles en agua ya que su adhesión a la superficie del zinc es deficiente, se deslavan fácilmente con la lluvia, dejando expuesta una superficie de zinc despejada para que comience un nuevo ciclo de corrosión.

- *Ambientes Rurales y Suburbanos:* A diferencia de los ambientes industriales, los entornos de las atmósferas rurales y suburbanas son relativamente benignos, particularmente si las exposiciones se encuentran lejos de las costas y de las actividades industriales y urbanas. En las atmósferas, rurales o suburbanas, la corrosión es relativamente lenta. Debido a que las películas de la reacción del zinc que se forman en estas atmósferas tienden a ser adherentes y por lo general no se deslavan de la superficie del zinc, su retención al zinc proporciona una protección superior para el acero.
- *Ambientes Marinos:* La protección de la galvanización en los ambientes marinos está influenciada por la proximidad del litoral, topografía costera y vientos que prevalezcan. En el aire marino, los cloruros de la niebla de mar reaccionan con la película normalmente protectora y producen cloruros de zinc solubles. Estas sales de zinc pueden eliminarse de la superficie con la lluvia o la neblina, y dejar expuesta una superficie de zinc despejada que reaccione más adelante. Bajo algunas condiciones, la velocidad de corrosión podría acelerarse por la arena que sopla el viento que puede extraer la película de zinc de la superficie expuesta.

Como se ha hablado anteriormente, tenemos distintos recubrimientos de zinc obtenidos por los procesos más habituales, que son:

- *Galvanización en caliente:* La galvanización en caliente es un proceso mediante el que se obtiene un recubrimiento de zinc sobre hierro o acero, por inmersión en un baño de zinc fundido, a una temperatura aproximada de 450° C. A esta operación se la conoce también como



galvanización por inmersión o galvanización al fuego. Posteriormente se explicará de una forma más extensa.

- Zincado electrolítico: se depositan unos recubrimientos de zinc por electrolisis de sales de zinc en disolución acuosa con ayuda de una corriente continua. El espesor de los recubrimiento electrolíticos de zinc es sensiblemente inferior al de los correspondientes recubrimientos de galvanización en caliente, por lo que no suelen ser adecuados para exposición a la intemperie o en aplicaciones en las que se exija una cierta duración en servicio, a no ser que se protejan adicionalmente mediante pintura para prolongar su vida útil. Su adherencia al sustrato de acero es buena y su aspecto superficial es liso y brillante.
- Metalización con zinc: también llamado proyección térmica de zinc, consiste en un proceso en el que el zinc, en forma de alambre o polvo, alimenta una pistola de proyección en la que es fundido mediante un arco eléctrico o llama de oxígeno y combustible, y se proyecta sobre la superficie del sustrato con ayuda de un gas pulverizador. La superficie a metalizar debe haber sido limpiada recientemente mediante chorreo abrasivo para conseguir una aceptable unión mecánica. Aunque pueden obtenerse recubrimientos gruesos, la uniformidad de los mismos depende mucho de la habilidad del operario y de la geometría de la pieza. Como los recubrimientos tienen cierta porosidad, se recomienda aplicar posteriormente sobre los mismos barnices sellantes.
- Recubrimientos con polvo de zinc: para esta técnica tenemos dos posibles opciones de proceder.
 - Sherardización: proceso de difusión en fase sólida, en el cual las piezas pequeñas se tratan en tambores giratorios con una mezcla de polvo de zinc, sílice y/o carborundo (carburo de silicio), a temperaturas entre 380°C y 400°C. En estas condiciones se forman capas de aleaciones de zinc-hierro sobre la superficie del acero con espesores variables que dependen de la temperatura y de la duración del proceso. Los recubrimientos así obtenidos son similares a los de la galvanización en caliente, aunque



generalmente de menor espesor y no presentan la capa externa de zinc puro, eso sí, son muy resistentes a la abrasión.

- Depósito mecánico de zinc: igual que en el otro método, este solo es aplicable a piezas pequeñas de forma. Estas piezas que van a ser cubiertas se someten primero a un pretratamiento y luego se hacen girar en un tambor junto con una mezcla de polvo de zinc, bolitas de vidrio, agua y productos químicos. Las bolitas de vidrio provocan el depósito de zinc en la pieza, cuando impactan sobre la superficie de las piezas como resultado del movimiento de rotación del tambor, generando un recubrimiento muy uniforme.
- Pinturas ricas en zinc: se trata de pinturas que contienen un elevado porcentaje de zinc metálico en la película de pintura seca (80-90%), que pueden aplicarse con brocha, rodillo o pistola sobre la superficie del acero, previamente preparada preferentemente por chorreo abrasivo. Por lo que a veces a este tipo de recubrimiento puede llegar a llamárselo “galvanizado en frío”, pero esto realmente no está bien dicho, porque en este proceso de recubrimiento con zinc, no existe reacción metalúrgica entre el zinc y el acero base, debido a que las pinturas necesitarían como mínimo un 95% de zinc y que la capa proporcionada fue conductora eléctricamente, y por lo tanto, al no formarse capas de aleación, no se le puede considerar un galvanizado. Sus aplicaciones más comunes, son la restauración de las zonas dañadas (por ejemplo por soldadura, corte o cizallamiento) y la regeneración de superficies erosionadas por el tiempo, de los recubrimientos obtenidos mediante galvanización en caliente, para estructuras de acero, ya que aplicando un espesor mínimo de 75 micrones se logra la misma protección que el galvanizado en caliente y para la protección de las soldaduras, pues estas son susceptibles de corroerse debido a que tienen un potencial eléctrico distinto al del metal base. Su consistencia y espesor dependerán de la habilidad del operario que realice el trabajo.

Entre los diferentes procedimientos de recubrimiento con zinc de metales nos vamos a centrar en la galvanización en caliente, dado que los espesores y las capas de aleaciones zinc-hierro que se obtienen mediante esta técnica, ofrecen



las mejores propiedades conjuntas de durabilidad, resistencia mecánica y economía para la obtención de los elementos de acero en las condiciones más exigentes.

Galvanización en caliente

La galvanización en caliente consiste en esencia en sumergir las piezas o elementos de hierro o acero a proteger, en un baño de zinc fundido mantenido a una temperatura de 450°C, aproximadamente. A esta temperatura tiene lugar un proceso de difusión del zinc en el acero que da lugar a la formación de aleaciones de zinc-hierro sobre la superficie de las piezas. Por razón de las diferencias en los procesos y de las características tecnológicas de los recubrimientos que se obtienen en los mismos, se distingue normalmente entre los siguientes procedimientos:

- Galvanización en caliente por procedimiento continuo: aplicable a chapas de acero (de hasta 3 mm de espesor) y alambres de hierro y acero de prácticamente cualquier diámetro.
- Galvanización en caliente por procedimiento discontinuo: conocido comúnmente como galvanización general, es aplicable a toda clase de piezas, artículos y construcciones fabricadas con hierro y acero.

Galvanización en caliente por procedimiento continuo

El procedimiento de galvanizado en continuo se aplica, como ya se ha dicho, a las chapas de acero (de hasta 3 mm de espesor) y a los alambres de hierro y acero. Estos materiales se someten de manera continua a una fase previa de limpieza superficial (que puede ser química o de oxidación-reducción carbotérmica, según los procesos), antes de hacerles pasar a una velocidad bastante elevada (hasta 200m/min) por el baño de zinc. El espesor del recubrimiento se controla con precisión mediante cuchillas escurridoras de aire/vapor a presión en el caso de la chapa, o matrices mecánicas para el

alambre. En la figura 4 se muestra un esquema de una instalación en caliente de chapa en continuo.

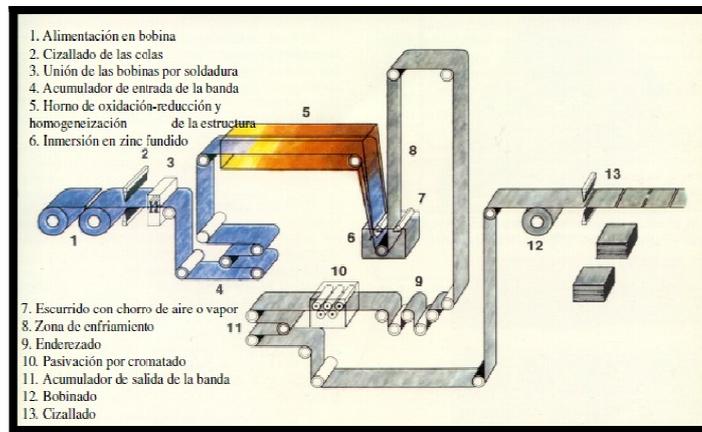


Figura 4. Esquema del proceso de galvanización en caliente de chapa por proceso continuo.

Los recubrimientos que se obtienen sobre la chapa por este procedimiento presentan, por una parte, un desarrollo mucho más reducido de las capas de aleaciones zinc-hierro, debido al escaso periodo de tiempo que la chapa está en contacto con el zinc fundido y, por otra, tienen un espesor sensiblemente inferior a los que se obtienen en el proceso de galvanizado en discontinuo. (Figura 5).

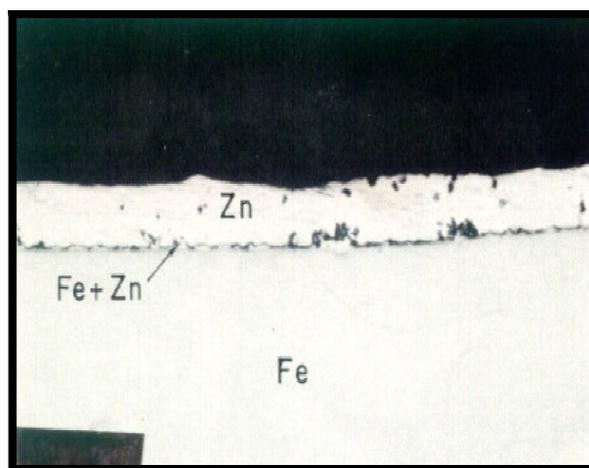


Figura 5. Micrografía del corte de un recubrimiento obtenido por galvanización en caliente por procedimiento continuo.



Las normas que especifican las características de las chapas galvanizadas en continuo son la UNE EN 10142 (chapa galvanizada para la conformación en frío) y la UNE EN 10147 (chapa galvanizada de acero de construcción). En estas normas y como se recoge en la tabla de la figura 6, se establecen ocho posibles calidades de los recubrimiento de zinc de las chapas, que van desde 100 g/m² (equivalente a 42 μm por cara). Sin embargo, las chapas que se encuentran normalmente en el mercado son chapas con recubrimientos de 275 a 350 g/m², que corresponden a espesores de 20 y 25 μm, respectivamente. Las chapas galvanizadas con mayores espesores de recubrimiento (600 g/m² o 42 μm de espesor) pueden obtenerse por encargo.

Designación del recubrimiento	<i>Masa mínima del recubrimiento, en g/m², incluyendo ambas caras</i>
100	100
140	140
200	200
225	225
275	275
350	350
450	450
600	600

Figura 6. Recubrimientos galvanizados en caliente sobre chapa galvanizada en continuo. Masa mínima del recubrimiento (normas UNE EN 10142 y UNE EN 10147).

Galvanización en caliente por procedimiento discontinuo

En este procedimiento las piezas a proteger se someten, previamente a la inmersión en el baño de zinc fundido, aun proceso exhaustivo de limpieza química, que incluye fases de desengrase, decapado, fluxado en baño de sales y secado. Estas fases se explicaran de forma más detallada en el siguiente apartado.

Los recubrimientos que se obtienen por este procedimiento están compuestos por tres capas principales de estas aleaciones, que se diferencian por su distinta estructura cristalográfica y distinto contenido en hierro, y una capa externa de zinc puro (Figura 7).

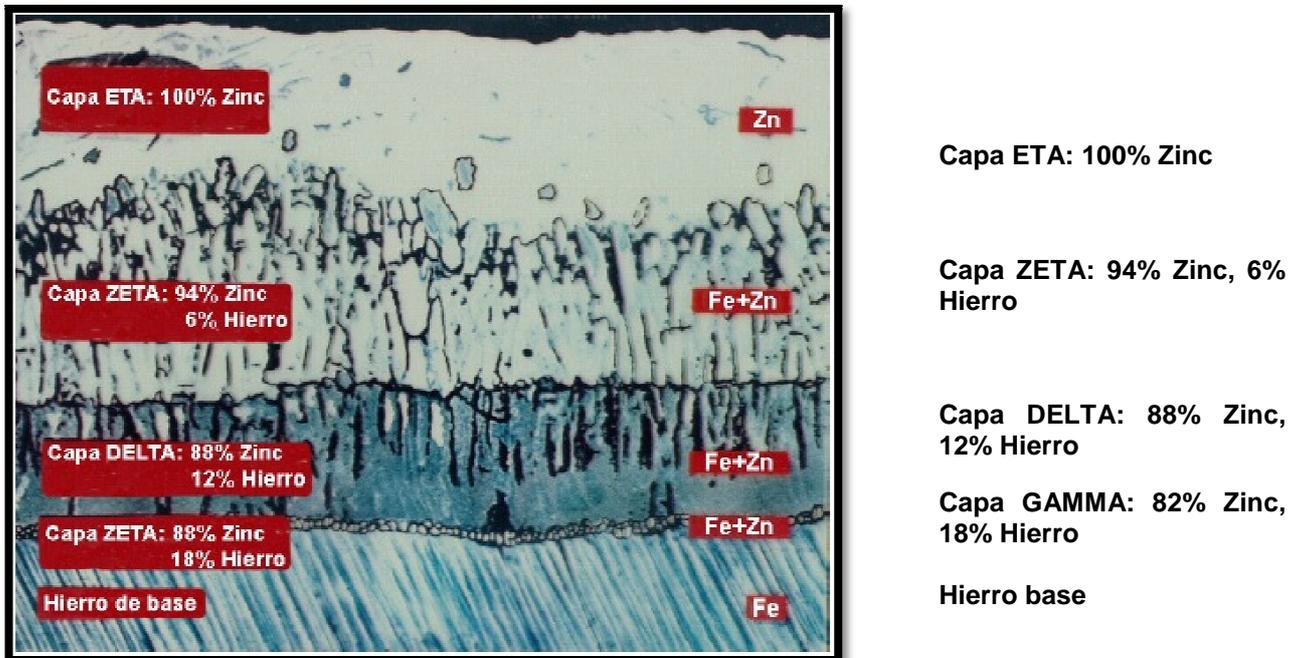


Figura 7. Micrografía del corte de un recubrimiento obtenido por galvanización en caliente por procedimiento discontinuo.

El espesor de estos recubrimientos depende del espesor y de la composición del acero base, pudiendo estar comprendidos entre 45 μm , en el caso de piezas de acero con espesor inferior a 1.5 mm, hasta más de 200 μm en elementos de acero de espesor grueso (≥ 6.0 mm). La norma UNE EN ISO 1461 especifica las propiedades generales y los métodos de ensayo de este tipo de recubrimientos galvanizados en caliente; en ella se establecen los espesores mínimos permitidos a estos recubrimientos en función del espesor del acero base de las piezas (Figura 8).

Espesor de la pieza	Valor local (mínimo) μm (micrómetros)	Valor medio (mínimo) μm (micrómetros)
Acero \geq 6 mm	70	85
Acero \geq 3 mm hasta < 6 mm	55	70
Acero \geq 1,5 mm hasta < 3 mm	45	55
Acero < 1,5 mm	35	45
Piezas moldeadas \geq 6 mm	70	80
Piezas moldeadas < 6 mm	60	70

Figura 8. Espesores mínimos del recubrimiento.

Las piezas pequeñas, tales como tornillo, arandelas y otros elementos de fijación se galvanizan en discontinuo colocándolas en cestas perforadas, que permiten someterlas a un proceso de escurrido mediante centrifugación una vez extraídas del baño de zinc. De esta manera se obtienen recubrimientos galvanizados más finos, que no ciegan las partes roscadas de las piezas con objeto de facilitar su montaje. La norma española que define los recubrimientos galvanizados sobre este tipo de piezas es la UNE 37-507.

Aunque el proceso es bastante simple, todas las etapas deben ser rigurosamente controladas si se quiere obtener un recubrimiento de óptima calidad y que sea capaz de dar la protección especificada en el cuadro de la figura 3.

Descripción de las etapas

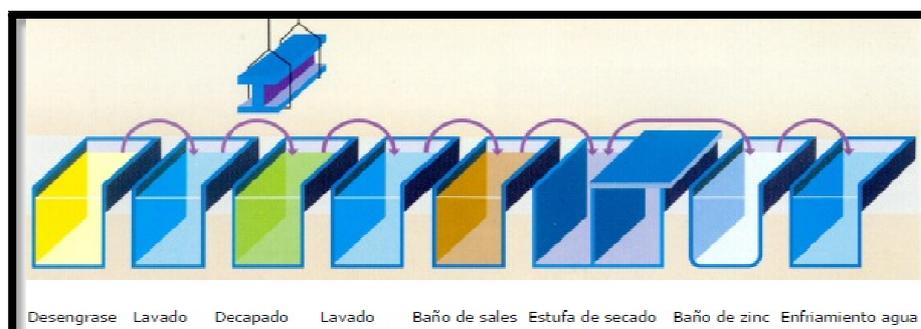


Figura 9. Esquema del proceso de galvanización en caliente.



Limpieza Caústica (desengrase): Son soluciones de compuestos desengrasantes alcalinos y su temperatura debe estar entre los 30 y 40 °C. Su finalidad es remover de la superficie del acero residuos de aceite, grasa y ciertos tipos de barnices, lacas y pinturas, permitiendo la correcta acción de los baños posteriores.

Aunque existen soluciones desengrasantes del tipo ácido, las alcalinas son ampliamente preferidas por ser de menor costo y más eficientes.

Lavado: Enjuague en agua limpia para evitar el arrastre de líquido de la limpieza cáustica al decapado.

Decapado Ácido: Son soluciones en base a Ácido Clorhídrico o Sulfúrico, que tienen la finalidad de remover los óxidos de la superficie del acero, obteniendo así una superficie químicamente limpia. El tiempo de decapado dependerá del grado de oxidación superficial de las piezas y de la concentración de la solución de ácido.

Los decapados en base Ácido Clorhídrico son los más usados, ya que operan a temperatura ambiente y tienen un menor impacto de contaminación en las etapas posteriores.

Es imprescindible la adición de un aditivo que contenga inhibidor para que el ácido no disuelva el acero, solamente los óxidos, que evite la emanación de neblina ácida e idealmente ayude en limpieza adicional del metal.

Lavado: Enjuague en agua limpia para evitar el arrastre de ácido y hierro en solución, los cuales contaminan el prefluxado y el zinc fundido del crisol de galvanización. Existen aditivos que ayudan a disminuir el arrastre de estos contaminantes.

Prefluxado: Es una solución acuosa de Cloruro de Zinc y Amonio, que disuelve los óxidos leves que se hayan vuelto a formar sobre la superficie del acero después de su paso por el decapado y el lavado. La película de fundente que se deposita protege la superficie para que no vuelva a oxidarse y asegura un recubrimiento uniforme de zinc en el crisol de galvanizado. Las piezas deben secarse y precalentarse antes de sumergirlas en el crisol de galvanizado.



Existen varios tipos de compuestos de Cloruro de Zinc y Amonio para el prefluxado.

Cuanto más óptima es la limpieza, decapado y lavado del acero, permitirá el uso de fluxes que admiten mayor tiempo de secado, mayores temperaturas de precalentado y una mínima emisión de humos al ingresar las piezas en el zinc fundido en el crisol. La presencia de contaminantes en el prefluxado influye directamente en la calidad del galvanizado, las pérdidas de zinc y la generación de subproductos tales como cenizas y humos.

El hierro en forma de sales solubles, arrastrado desde el decapado a su lavado posterior es el contaminante más crítico. Su efecto es la formación de escoria en la masa fundida de zinc, la cual aumenta el espesor de la capa de zinc y crea capas intermetálicas desiguales. El hierro soluble debe mantenerse por debajo de un 0,5%. Es factible mantener una baja concentración de hierro en el prefluxado ajustando el PH alrededor de 5 y filtrando la solución. Con un adecuado control, las soluciones de prefluxado pueden durar años. En las plantas donde no existe horno de secado o precalentamiento es conveniente operar el prefluxado a 55-75°C, esto ayudará a un secado más rápido.

Flux en el crisol de galvanizado (alternativo): El uso de flux sobre el crisol de galvanizado evita las salpicaduras de zinc y la emisión de humo al sumergir las piezas en el crisol como también se genera una menor cantidad de cenizas y disminuye el consumo de energía para mantención de temperatura.

Para un fluxado eficiente, sólo es recomendable utilizar compuestos de cloruro de zinc y amonio que no se quemem con la alta temperatura del zinc fundido.

Baño de Zinc (crisol de galvanizado): Las piezas deben sumergirse lo más rápido posible y retiradas lentamente del crisol, dado que el galvanizado actúa tanto en superficies internas como externas. Como ya se ha dicho, es importante prever una correcta preparación del material para una adecuada emanación de gases y para que el zinc fundido penetre en el interior y lo cubra de forma conveniente.



El tiempo de inmersión dependerá del espesor del acero, la temperatura de precalentado y el espesor deseado. La reacción de formación de la capa de zinc es rápida, en los primeros 1 a 2 minutos y luego decae. Mientras más gruesa la capa, más quebradiza es. En los primeros 30 segundos se forman las 3 capas intermetálicas.

Una composición típica de la masa de metal fundido es:

98,76%Zinc

1,2%Plomo

0,002%Aluminio

Es conveniente que las piezas no se sumerjan a más de 30 cm del fondo, ya que en el fondo se acumula escoria. La temperatura óptima es 454°C. No se deben superar los 480°C ya que el hierro del crisol reacciona con el zinc formando escoria y falla prematura del crisol.

Enfriamiento: Este influye en el aspecto del galvanizado, por lo que es importante controlar la velocidad de enfriamiento por medio de un enfriamiento rápido con agua o un enfriamiento más lento con aire.

Pasivación: Para evitar las manchas de corrosión blanca sobre el galvanizado, es recomendable realizar un proceso de pasivación de la superficie. Las más comunes son mediante una solución de cromatos o una solución de silicatos. Ambas soluciones pueden estar contenidas en el estanque de enfriamiento. Los pasivadores en base a silicatos no presentan los problemas ambientales que generan los que contiene cromo y tienen mayor resistencia a la lluvia ácida.

Recubrimientos post-galvanizado e inspección final

Cuando se requiere una resistencia a la corrosión extrema, es posible aplicar sobre el galvanizado una pintura protectora, la cual debe cumplir ciertos requisitos para obtener buenos resultados. Estos son conocidos como recubrimientos duplex. Con este tipo de recubrimientos se obtiene una protección 1,5 a 2,5 veces superior al galvanizado solo.



Para este efecto no se deben aplicar tratamientos pasivadores al galvanizado, ya que la adherencia de la pintura será deficiente. Se le deberá hacer un tratamiento al galvanizado, como por ejemplo, un fosfatizado.

También se pueden aplicar pinturas sobre el galvanizado que solamente cumplan un rol decorativo.

Si la superficie galvanizada se ha visto dañada debido a soldaduras, perforaciones, cortes, transporte, etc. Esas zonas dañadas deben ser retocadas únicamente con productos que cumplan con la norma ASTM-A-780, como por ejemplo, galvanizado en frío. La aplicación de productos que no cumplan con esta norma provocarán corrosión prematura en las zonas dañadas.

Por último, antes de dar por finalizado el proceso de galvanizado, la pieza pasa por una inspección en la cual se evaluará su aspecto final como el espesor obtenido.

Aplicaciones

Edificación: Estructuras, Carpintería, Escaleras, Barandillas, Vallados, Conducciones, Andamios.

Agricultura y Ganadería: Invernaderos, Silos, Almacenes, Establos y Corrales, Instalaciones Avícolas, Cercados y Equipos de Irrigación.

Mobiliario Urbano: Farolas, Semáforos, Contenedores, Marquesinas, Bancos, Instalaciones para Parques y Jardines.

Electricidad y Telecomunicaciones: Torres y Subestaciones Eléctricas, Antenas de Telefonía, Repetidores de Televisión.

Instalaciones Industriales: Naves, Estructuras, Depósitos y Tuberías.

Equipamientos de Carreteras: Pasarelas, Pórticos de Señalización, Barreras de Seguridad, Pantallas Acústicas, Parapetos.



Deporte: Estadios, Piscinas, Polideportivos, Teleféricos y Telesillas, Parques Infantiles.

Transporte: Catenarias de Ferrocarril, Estaciones, Terminales, Embarcaderos, Almacenes e Instalaciones Auxiliares, Construcción Naval.

PROCESO DE DECAPADO

Una de las etapas más importantes en el proceso de galvanizado, es el decapado ácido que se le realiza a las piezas como pretratamiento para su posterior zincado.

Descripción

El decapado es un procedimiento industrial para eliminar la capa superficial de óxidos de hierro, la calamina (carbonato de zinc natural) y partículas metálicas de la superficie del metal base, que se torna en los productos siderúrgicos expuestos a la oxidación atmosférica o en las distintas etapas de los procesos siderúrgicos de obtención de hierro en bandas. En el primer caso, es tratamiento previo obligado para su protección frente a la corrosión mediante recubrimientos de superficie particularmente pinturas. En cuanto al trabajado del hierro en los trenes de laminación, se producen distintos tipos de óxidos que constituyen las denominadas cascarillas que reducen la resistencia de las estructuras de hierro.

Tipos de Decapado

Existen fundamentalmente tres tipos de decapado:

- Decapado químico
- Decapado electroquímico



- Decapado mecánico

Decapado Químico

En el caso de los procesos de galvanizado, como ya se ha visto, el decapado que se utiliza es un decapado ácido, y por lo tanto solo nos centraremos en este.

El decapado químico técnicamente se realiza disolviendo el óxido con un ácido, generalmente sulfúrico o clorhídrico, y posterior lavado con agua para arrastrar los restos de ácido y de hierro disuelto. Los óxidos superficiales pasan a la disolución en forma de sulfato o cloruro, según el decapante, integrando las conocidas lejías residuales de decapado.

Los medios decapantes consisten en ácidos, puros o mezclados, disueltos en agua con aditivos. Los principales aditivos utilizados son:

- Inhibidores de decapado.
- Humedactantes y tensoactivos.
- Antiespumantes.

Dentro de estos tres principales aditivos, el más importante son los inhibidores de decapado, esto se explica debido a que el espesor de las capas de óxido y cascarilla sobre una pieza de acero que vaya a ser galvanizada no suele ser homogéneo, por lo que las piezas deberán permanecer en el baño de decapado hasta que haya sido eliminado el último rastro de óxido y cascarilla.

Es decir, superficies ya brillantes (completamente decapadas) siguen estando expuestas al ácido (sobredcapado), lo cual repercute en un aumento del consumo de ácido. Para evitar que las superficies de acero sigan decapándose una vez eliminado el óxido y la cascarilla, se utilizan los inhibidores de decapado.

En las empresas de galvanizado por inmersión se emplean normalmente inhibidores de decapado a base de hexametilentetramina, la erosión de



material puede reducirse de esta forma hasta en un 98%, mientras que el ahorro en ácido debido al empleo de inhibidores del decapado dependerá en gran medida del grado de oxidación y de formación de cascarilla que presenten las piezas, no pudiendo ser cuantificado por el momento.

Algunos inhibidores del decapado, al tratarse de sustancias orgánicas, pueden incidir negativamente sobre una serie de procesos de valorización para baños de decapado agotados. Por lo tanto, la decisión de emplear o no inhibidores del decapado para minimizar el consumo de ácido y con ello la cantidad de baño agotado que se genera, deberá tomarse dependiendo del proceso de valorización y/o eliminación aplicado en cada empresa.

El almacenamiento correcto de las piezas a galvanizar y su colocación óptima de modo que no existan contactos prolongados de la superficie a tratar con el agua evitan que se oxiden parcialmente las piezas y por lo tanto, permiten un tiempo uniforme y reducido de decapado, y también menor uso de los inhibidores de decapado. En caso de no cuidarse este aspecto, las piezas se sobredecararán hasta que la zona más oxidada de una pieza del lote esté en condiciones para el proceso de galvanizado.

Los ácidos inorgánicos de decapado y las concentraciones y diluciones habitualmente utilizadas se reflejan en la siguiente tabla:

Tipo Ácido/base	Conc. inicial	Disolución final más habitual	Temperatura de trabajo (T °C)	Tipo de metal a decapar
HCl	33%	18%	20-30/80	Hierro y acero no aleado
H ₂ SO ₄	98%	5-35%	50-80	Hierro, acero no aleado, cobre,



				aluminio
HNO ₃	60%	5-30%	50	Cobre y acero inoxidable
HF	70%	3-10%	50	Acero inoxidable (como mezcla)
NaOH	50%	10-20%	60-70	Aluminio

Figura 10. Características de ácidos y bases de decapado más importantes

Tipos de decapado químico

El ácido clorhídrico HCl es el más empleado en decapados, seguido del H₂SO₄, HNO₃, y en menor grado el HF. El decapado con ácido fosfórico, ácido crómico y bórico tienen carácter marginal. El único álcali empleado puntualmente como decapante metálico es el NaOH.

- Decapado con ácido clorhídrico

Utilizado fundamentalmente para decapado de hierro y acero inoxidable. El acero, en cambio, recibe un ataque más severo con clorhídrico que con sulfúrico.

Comúnmente se usa una solución de clorhídrico al 18%, diluyendo al 50% el ácido comercial con agua.

Entre los inconvenientes que presenta este ácido como decapante destacan:

- El elevado consumo de ácido.
- Su volatilidad.
- La toxicidad de sus vapores.



- Decapado con ácido sulfúrico

Utilizado fundamentalmente para hierro y acero no inoxidable y en menor grado para el aluminio.

Comúnmente se usa una solución de ácido sulfúrico variable entre un 5 y un 20%. En el caso del acero dulce se emplea una concentración mayor, pero debe tenerse en cuenta que la máxima acción decapante se consigue con soluciones de 30-35% y que a partir de un 45% de contenido en ácido la solución no decapa. La temperatura de trabajo puede variar entre 50 y 80°C.

- Decapado con ácido nítrico

En general se utiliza el ácido nítrico en combinación con otros ácidos, sobre todo el HF y en menor grado el SO_4 y HCl. El uso más extendido es el decapado de acero inoxidable que se realiza en caliente con una mezcla de 20% de HNO_3 , y un 10% de HF.

En la actualidad se está sustituyendo el uso del HF por el NH_4F , de mayor facilidad para el manejo.

- Decapado con ácido fluorhídrico

El ácido fluorhídrico se emplea con mayor frecuencia en combinación con el nítrico para los aceros inoxidables antes mencionados y como aditivo acelerador, aunque cada vez menos, en baños de decapado de sulfúrico de aluminio y en ocasiones de clorhídrico, por su alto poder decapante.

- Decapado con ácido fosfórico

Se utiliza para hierro y acero y da lugar a excelentes superficies pasivadas, protegidas y aptas para recubrimientos como pinturas. Sin embargo no se prestan a recubrimientos metálicos (o electrolitos) por generar una capa aislante. Se emplea con poca frecuencia.

- Decapado con ácido crómico



Se suele utilizar para metales como el zinc, y a veces el cobre. Forma capas protectoras aislantes de cromo, por lo que también recibe el término de pasivado y se incluye en la categoría de residuos con metales procedentes de procesos galvánicos.

- Decapado con sosa

Se utiliza fundamentalmente a un 10-20% en los anodizados de aluminio y a una temperatura elevada de 60 -70°C.

Todos estos tipos de decapado se realizan fundamentalmente por inmersión en tanques. Esta técnica tiene la ventaja de tratar todas las superficies del elemento para lograr una óptima resistencia a la corrosión y un acabado uniforme. Es también la mejor opción en aspectos de salud y seguridad puesto que siempre se realiza «in situ». El decapado llevado a cabo en las instalaciones de un fabricante o minorista de acero inoxidable especializado, donde el proceso puede ser minuciosamente controlado, minimiza además el impacto medioambiental del proceso.

Los factores más importantes que influyen a la hora de mantener el baño de decapado son: la concentración de ácido, la temperatura del baño, y la duración del tratamiento.

Baños agotados de decapado

Durante la operación de decapado, los ácidos se van consumiendo y los metales, disolviéndose en el baño. El hierro es el elemento dominante seguido por el cromo y el níquel. En consecuencia, se produce un incremento de la concentración de metales en la solución ácida y existe la posibilidad de que precipiten los fluoruros de hierro, por lo tanto la actividad del baño de decapado va disminuyendo por lo que este se va sustituyendo parcialmente, drenando parte de su contenido y realizando adiciones periódicas de ácido para mantenerlo. Así mismo, será necesario reponer las pérdidas producidas tanto por evaporación como por arrastre de las piezas, compensándose estas

pérdidas mediante la adición de agua. Este sistema puede mantenerse así hasta que se alcanza el límite de solubilidad del cloruro ferroso (FeCl_2) en el propio ácido clorhídrico, por lo que una vez que se ha llegado a este límite (~ 150 g/l), el baño de decapado estará agotado siendo necesaria su renovación.

Por otro lado, tal y como se recoge en la figura 11, la velocidad de la reacción de decapado aumenta en función de la concentración de ácido clorhídrico (se utiliza este como referencia ya que es el más utilizado). Así, a alta concentración de ácido (~ 200 g/l HCl) el decapado es espectacularmente rápido, por lo que suele darse un ataque al material base. Por debajo de los 150 g/l de clorhídrico, el tiempo de decapado es más uniforme y permite una gestión óptima de la acidez del baño.

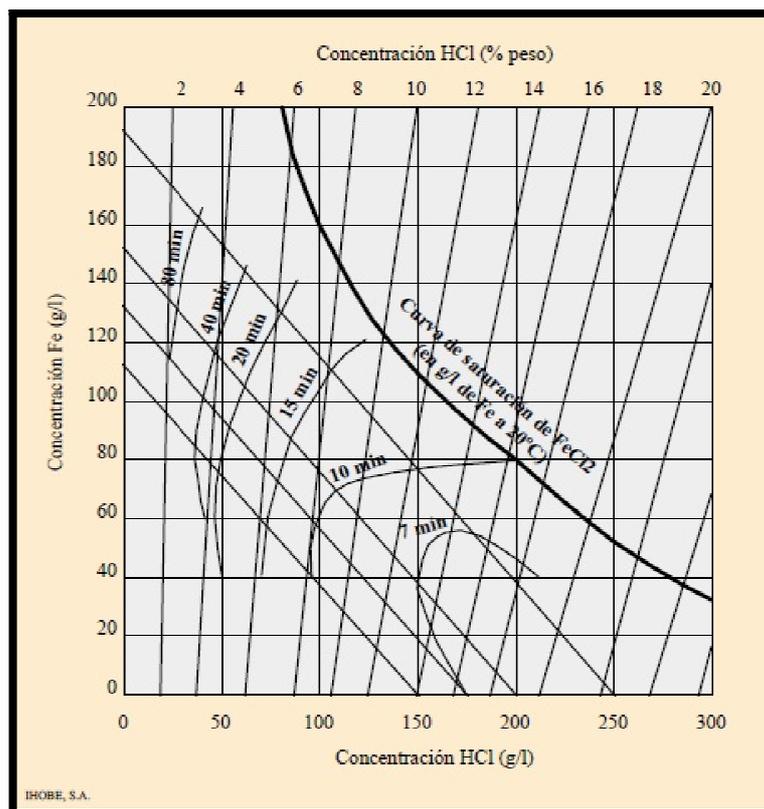


Figura 11. Relación entre el tiempo de decapado y composición del baño de decapado a 20°C.



Problemática medioambiental del proceso de decapado

En cualquier caso, los efluentes procedentes de los baños de decapado representan un grave problema medioambiental al tratarse de un residuo que contiene nitratos, fluoruros, ácidos y un elevado contenido de metales pesados. El método usual de tratar estos baños es neutralizar con lechada de cal, con lo que se producen unos lodos que se envían a un depósito. Aparte los graves problemas medioambientales, aparecen también importantes deficiencias en la operación de decapado debido a que las condiciones operativas en los baños no son estables y cada cierto tiempo se requiere parar para limpiar y ajustar su composición.

La problemática medioambiental que pueden presentar los procesos de decapado y la posterior gestión de residuos son:

- Alta corrosividad, peligrosa para el medio ambiente y los colectores, en caso de mala gestión. Efectos sobre el medio receptor:
 - La hidrólisis de las sales ferrosas a hidróxidos ferroso-férricos, insolubles en el agua, da lugar a un sedimento de color ocre.
 - La reducción del oxígeno disuelto en el agua por la reacción anterior disminuye el poder regenerante de los ríos.
 - La proliferación de bacterias ferruginosas que afectan, junto a los depósitos ferríticos, a la flora y a la fauna.
 - Las concentraciones de hierro en disolución inhabilitan a las aguas para su empleo con fines alimentarios, domésticos e industriales.
- Carácter tóxico en algunos casos de los aditivos de decapado.
- Contenidos de metales no férreos (Zn, Cu,...) en los baños de decapado.
- Emisiones gaseosas (gases nitrosos y de HCl) durante el proceso.
- Emisiones líquidas por arrastres a lavados posteriores.
- Alta salinidad y carga orgánica media de los efluentes provenientes del tratamiento físico-químico de los baños agotados.

A parte de estos problemas, nada despreciables, también hay que tener en cuenta que los baños de decapado contienen aditivos inhibidores de la



corrosión y tensoactivos existiendo una amplia gama de aditivos cuyos efectos sobre el medio deben ser analizados. Su concentración suele ser de unos 2 g/l o 0'2% de volumen del baño de decapado.

A parte de estos, existe una amplia gama de tensoactivos y humectantes no iónicos. Algunos de ellos tienen efectos nocivos sobre el medio ambiente que son de sobra conocidos. Tal es el caso de los alquilfenoletoxilatos, cuya concentración en los baños de decapado suelen situarse entre los 0'1 y 1 g/l en el cielo natural son metabolizados a alquilfenoles, sustancia altamente tóxica. Estos tensoactivos son igualmente utilizados en baños desengrasantes, pinturas y emulsionantes.

La problemática de los aditivos orgánicos puede incrementarse a la hora de realizar el proceso de floración en frío para la consecución del floculante $FeCl_3$, puesto que es probable la formación de compuestos organoclorados.

En la figura 12 se muestra la composición media de los baños de decapado agotados según su utilización, distinguiendo entre aquellos en los que se decapan todo tipo de piezas (decapados agotados de mezcla), aquellos que decapan sólo las piezas normales de proceso (decapados agotados de hierro) y por último aquellos que se utilizan para el decapado de piezas con recubrimiento previo de zinc que es necesario eliminar (decapados agotados de zinc).

	Decapados agotados de mezcla	Decapados agotados de hierro	Decapados agotados de zinc
Hierro	<140 g/L	>140 g/L	<15 g/L
Zinc	20-40 g/L	5-10 g/L	160-200 g/L
HCl (ácido residual libre)	30-50 g/L	30-50 g/L	<10 g/L
Inhibidor	50 mg/L	50 mg/L	50 mg/L
Cloruros	220-260 g/L	220-260 g/L	220-260 g/L

Figura 12. Composición media de los baños de decapado agotados procedentes del proceso de galvanizado por inmersión en caliente.



Los baños de decapado agotados constituyen actualmente el mayor problema de eliminación en los talleres de galvanizado por inmersión. Debe distinguirse entre baños de decapado puros de zinc y de hierro, procedentes de empresas que practican una gestión separada de los ácidos, y baños de decapado de mezcla, procedentes de empresas que no practican una dicha gestión. Los baños de decapado de mezcla, son con diferencia, los más cuantiosos del total de baños de decapado agotados generados. La mayoría de la empresas generan efluentes de decapado agotados de mezcla que son entregados a gestores para su tratamiento, el cual consiste en una depuración físico-química, por lo que no suele realizarse valorización alguna (IHOBE, 2002).

Para la obligada depuración de estos efluentes se proponen diversos procedimientos de inertización o recuperación de los contaminantes. Si se descartan los primeros, que no producen beneficios, sino costes en la economía de los tratamientos, la solución se centra en el aprovechamiento integral de las disoluciones ferrosas ácidas.

Gestión de los baños de decapado agotados

Para la obligada depuración de los baños agotados se proponen diversos procedimientos de inertización o recuperación de los contaminantes específicos para cada ácido.

- Ácido clorhídrico

Se puede considerar actualmente varios tipos de gestión:

~ *Neutralización:* Se realiza normalmente con lechada de cal a veces con sosa. Es la única solución económica a baños ácidos con alto contenido de metales pesados (como Zn, Cu, Ni, Cr), contaminación alta de aceites o dilución excesiva en agua. Este tratamiento destructivo puede realizarse "in situ" o "off site". Posteriormente se deben flocular los hidróxidos metálicos, precipitarlos y concentrarlos. Empleo de baños agotados de decapado de



hierro (FeCl_3) como floculante. No se precisa ningún tratamiento especial, presuponiendo un baño de decapado no contaminado (p. e. laminación en frío), se puede utilizar directamente para afluentes de la industria textil y papelera.

~ *Producción de FeCl_3* : Para ello se prestan baños de decapado agotados con hierro no contaminados y que contengan más de 120 g/l de Fe y menos de 30 g/l de HCl. Tras una saturación con óxido de hierro se procede a oxidar el cloruro ferroso a férrico mediante cloro, filtrándose el precipitado.

~ *Recuperación térmica del HCl*: Para ello se prestan todos los baños no contaminados de HCl, es decir contienen menos de 2 g/l de Zn y Pb. El proceso se desarrolla a 1.200°C y produce HCl y Fe_2O_3 .

- Ácido sulfúrico

Los residuos de H_2SO_4 a gestionar no tienen actualmente otra salida que la neutralización, posterior floculación, precipitación y concentración.

La cantidad de lodos generados es alta por precipitarse CaSO_4 (yeso), al neutralizarse con lechada de cal.

Existen procesos de recuperación de H_2SO_4 , que no son viables energética ni económicamente debido al claro exceso de producción de H_2SO_4 lo que no hace atractiva la alternativa de recuperación.

- Ácido nítrico, fluorhídrico y mezclas

La gestión de residuos de HNO_3 , HF y sus mezclas pasa, conociendo el estado actual de la tecnología, necesariamente por un tratamiento destructivo, esto es la neutralización, precipitación y deshidratación de los fangos resultantes.



Estos son algunos métodos de tratamiento de los distintos baños agotados de decapado, pero existen otras muchas técnicas, sobretodo de regeneración de los ácidos, como pueden ser:

- Resinas de retención de ácidos: Permiten recuperar los ácidos libres usando un tipo de resina que retienen los ácidos y dejan pasar los complejos metálicos. Los ácidos recuperados se reciclan al baño, mientras que la disolución que contiene los metales se neutraliza normalmente, lo que produce lodos que se envían a un depósito.
- Diálisis: Es una técnica desarrollada fundamentalmente en Japón, pero que va ganando aplicación en Europa. Igual que en el caso de las resinas, recupera sólo los ácidos libres. Por tanto, en este caso, la neutralización también se hace necesaria.
- Procesos basado en electrodiálisis: La recuperación de ácidos libres además de ácidos complejados es posible por medio de procesos desarrollados en Estados Unidos y en Japón, basados en la neutralización del baño con potasa, que, a su vez, se regenera por electrodiálisis y se recicla, de manera que el coste principal del proceso es energía eléctrica. No se evita, sin embargo, la generación de lodos de hidróxidos metálicos contaminados que deben enviarse al vertedero. El elevado coste de inversión, así como la no recuperación de los metales son sus principales inconvenientes.
- Evaporación: Este tipo de proceso se usa comercialmente en Europa y permite la recuperación tanto de los ácidos libre como complejados. Este proceso requiere también una elevada inversión y presenta limitaciones para recuperar los metales.



DESCRIPCION DEL PROCESO ELEGIDO

Como el objetivo del proyecto es el tratamiento y gestión de los baños agotados de decapado ácido, se ha decidido construir una planta únicamente de neutralización, ya que así se podrán tratar todo tipo de baños, tanto clorhídricos como sulfúricos y nítricos, ya que el tratamiento común a todos los baños pasa inicialmente por una fase de neutralización.

Esta planta de tratamiento se basa en una línea de neutralización-precipitación y filtración de los baños agotados, a la par de estas operaciones se realiza otra de concentración de uno de los productos obtenidos y la fabricación de lechada de cal que se utilizara en la neutralización.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA PLANTA

El edificio de almacenamiento y tratamiento de los residuos ácidos contará con:

- Depósitos de almacenamiento de los baños agotados recibidos
- Silo de almacenamiento de cal viva
- Apagador de cal viva
- Depósitos de lechada de cal
- Reactores de neutralización-precipitación
- Filtros prensa
- Depósitos pulmón
- Evaporador
- Almacenamiento de producto obtenido

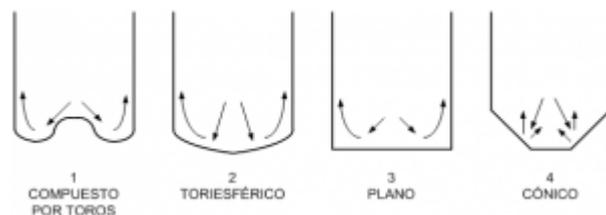
Los baños ácidos agotados de decapado llegarán en cisternas; el camión irá a la explanada de carga y descarga, realizando la descarga mediante un bombeo directo desde la cisterna hasta los depósitos de almacenamiento a través de

boquillas. Estas boquillas serán diferentes para cada tipo de residuo a admitir de tal forma que sea imposible la descarga de un producto en un tanque de almacenamiento incorrecto, evitando así posibles accidentes, al mezclar sustancias incompatibles.

TEORIA DE AGITACIÓN

La agitación se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente.

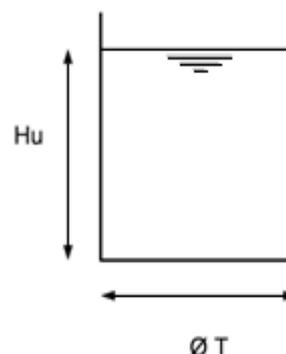
Un factor importante en la agitación son los fondos del depósito ya que tienen la misión de desdoblarse y redirigir los flujos de líquido que salen del móvil.



El fondo del depósito es tanto más óptimo cuanto más auto limpiante sea, es decir, para un propulsor axial el mejor fondo será el que siga las líneas de flujo generadas por el impulsor (1) dos toros como en la figura.

Los fondos curvos (semiesférico o toriesférico) son los siguientes en cuanto a adecuación a la agitación. Le siguen los planos (3) y los peores son los troncocónicos (4) o troncopiramidales. Estos fondos rompen las líneas de flujo generadas por el impulsor, creándose torbellinos y turbulencias localizadas y disminuyendo la energía de desplazamiento que contribuye a la agitación del líquido de la parte alta del depósito.

Las formas y dimensiones del depósito contenedor del volumen de líquido a agitar son importantes para el rendimiento y optimización de la agitación.





La relación óptima en dimensiones es $Hu/T=1$

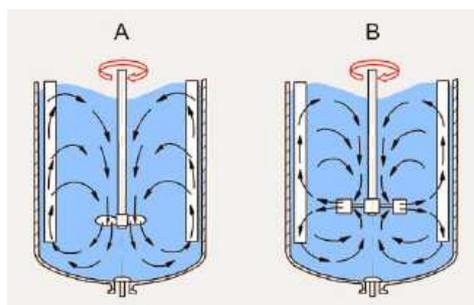
Cuanto más se aleje esta relación de la unidad, más se alejará la agitación del óptimo tanto a nivel técnico como económico.

Los mejores depósitos verticales son los cilíndricos, seguidos de los de sección cuadrada y por último los de sección rectangular. En los depósitos verticales cilíndricos con agitador vertical es necesario instalar deflectores o interruptores de flujo con unas dimensiones determinadas.

La eficiencia del proceso de mezclado depende de una efectiva utilización de la energía que se emplea para generar el flujo de componentes. Para lograr proporcionar un suministro de energía adecuado hay que considerar las propiedades físicas de los componentes, el diseño del agitador que transmite la energía y la configuración del tanque de mezclado.

Clases de agitadores

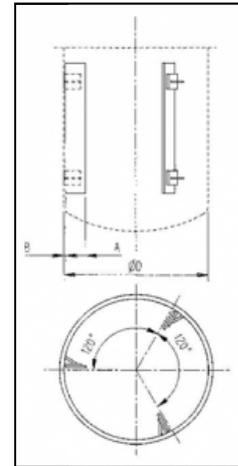
- Impulsores de flujo axial que generan corrientes paralelas al eje del impulsor. (A)
- Impulsores de flujo radial que generan corrientes en dirección radial tangencial. (B)



Todos los móviles en un agitador generan una mayor o menor componente tangencial que hace que el líquido gire. Girará tanto más cuanto más baja sea la viscosidad del líquido ($\mu < 400$ cP).

La velocidad del flujo producido por el móvil depende directamente de la velocidad relativa del móvil respecto del líquido por lo que cuanto más gire la masa de líquido menor agitación se observará. Los *baffles* o *interruptores* de flujo tienen la misión de evitar o reducir este giro.

La colocación de dichos deflectores (A y B) dependerá del diámetro ($\varnothing D$) del depósito como se muestra en la siguiente figura. El ancho de las placas no debe ser mayor que un doceavo del diámetro del tanque. Cuando se usan agitadores de hélice, el ancho de la placa puede ser de un octavo del diámetro del tanque.



Tipos principales de agitadores

- *Paletas*

Consisten en una hoja plana sujeta a un eje rotatorio y producen una acción de mezcla suave siendo útiles para operaciones de simple mezcla, como, por ejemplo, la mezcla de líquidos miscibles o la disolución de productos sólidos, así como materiales cristalinos frágiles. Las paletas giran a velocidades bajas o moderadas en el centro del tanque, impulsando al líquido radial y tangencialmente, sin que exista movimiento vertical respecto del agitador, a menos que las paletas estén inclinadas.



Los agitadores industriales de paletas giran a una velocidad comprendida entre 20 y 150 rpm. La longitud del rodete de un agitador de paletas es del orden de 50 al 80% del diámetro interior del tanque y la anchura de la paleta es de un sexto a un décimo de su longitud.

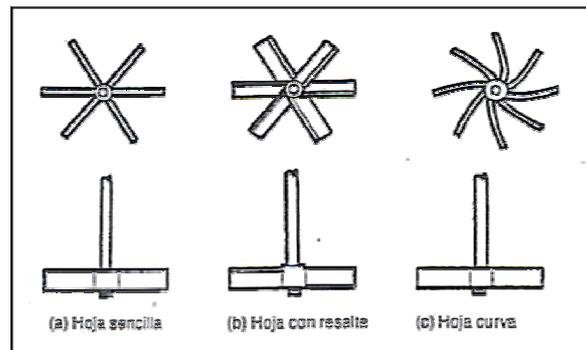
A velocidades muy bajas, un agitador de paletas produce una agitación suave, en un tanque sin placas deflectoras o cortacorrientes, las cuales son necesarias para velocidades elevadas. De lo contrario el líquido se mueve como un remolino que gira alrededor del tanque, con velocidad elevada pero con poco efecto de mezcla.

- *Turbina*

Están constituidos por un componente impulsor con más de cuatro hojas, montadas sobre el mismo elemento y fijas a un eje rotatorio.

La mayor parte de ellos se asemejan a agitadores de múltiples y cortas paletas, que giran con velocidades elevadas sobre un eje que va montado centralmente dentro del tanque. Las paletas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales. El rodete puede ser abierto, semicerrado o cerrado, y su diámetro es menor que en el caso de agitadores de paletas, siendo del orden del 30 al 50% del diámetro del tanque.

Los agitadores de turbina se pueden utilizar para procesar numerosos materiales ya que son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades;

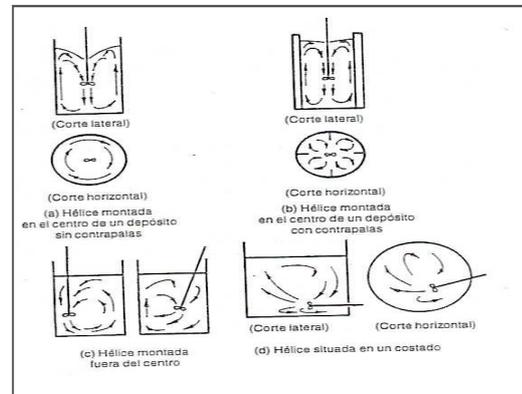


en líquidos poco viscosos, producen corrientes intensas, que se extienden por todo el tanque y destruyen las masas de líquido estancado. En las proximidades del rodete existe una zona de corrientes rápidas, de alta turbulencia e intensos esfuerzos cortantes. Las corrientes principales son radiales y tangenciales. Las componentes tangenciales dan lugar a vórtices y torbellinos, que se deben evitar por medio de placas deflectoras o un anillo difusor, con el fin de que el rodete sea más eficaz.

- *Hélice*

Poseen elementos impulsores de hojas cortas (normalmente de menos de $\frac{1}{4}$ del diámetro del tanque) que giran a gran velocidad (de 500 a varios millares de r.p.m).

Las hélices no son muy efectivas si van montadas sobre ejes verticales situados en el centro del depósito de mezcla.



La velocidad de flujo creada, en un depósito, por un mezclador de hélice tiene tres componentes:

- Una componente radial que actúa en dirección perpendicular al eje.
- Una componente longitudinal que actúa paralelamente al eje.
- Una componente rotatoria que actúa en dirección tangencial al círculo de rotación del eje.

Tanto la componente radial como la longitudinal contribuyen, generalmente, a la mezcla, pero no siempre la componente rotatoria.

El diámetro de los agitadores de hélice raramente es mayor de 45 cm, independientemente del tamaño del tanque.

Potencia consumida en tanques agitados

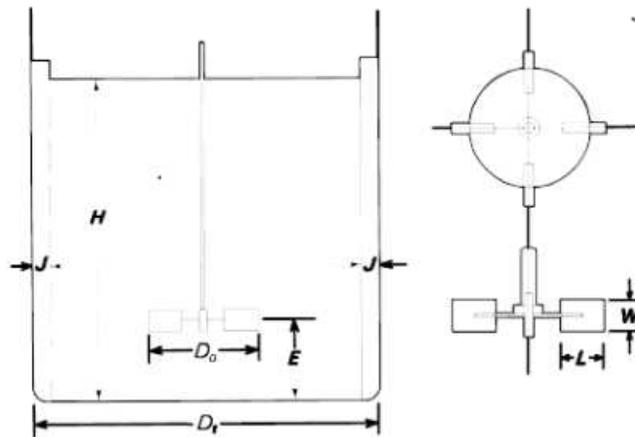
La potencia introducida a un sistema de mezclado de líquidos por medio de un agitador se determina por su velocidad de rotación, la configuración del mezclador y las propiedades físicas de la mezcla.

Las variables que pueden ser controladas y que influyen son:

- Diámetro del tanque (D_t)
- Diámetro del rodete (D_a)



- Altura del líquido (H)
- Ancho de la placa deflectora (J)
- Distancia del fondo del tanque hasta el rodete (E)
- Dimensiones de las paletas, largo (L) y ancho (W)
- Viscosidad (μ) y densidad (ρ) del fluido.
- Velocidad de giro del agitador (N).



Las distintas dimensiones lineales pueden convertirse en relaciones adimensionales, llamadas factores de forma, dividiendo cada una de ellas por otra que se elige arbitrariamente como dimensión fundamental. El diámetro del rodete (D_a) es una elección adecuada como magnitud fundamental, y los factores de forma se calculan dividiendo las restantes dimensiones por D_a .

El diámetro del rodete se toma, por otra parte, como medida del tamaño del equipo y se emplea como variable en el análisis dimensional.

Ignorando de momento los factores de forma, y suponiendo que el líquido es newtoniano, la potencia es una función de las restantes variables y aplicando el método de análisis dimensional resulta:

$$\frac{P g_c}{N^3 D_a^5 \rho} = f\left(\frac{D_a^2 N \rho}{\mu}, \frac{N^2 D_a}{g}\right); \quad N_P = C(N_{Re})^X (N_{Fr})^Y$$



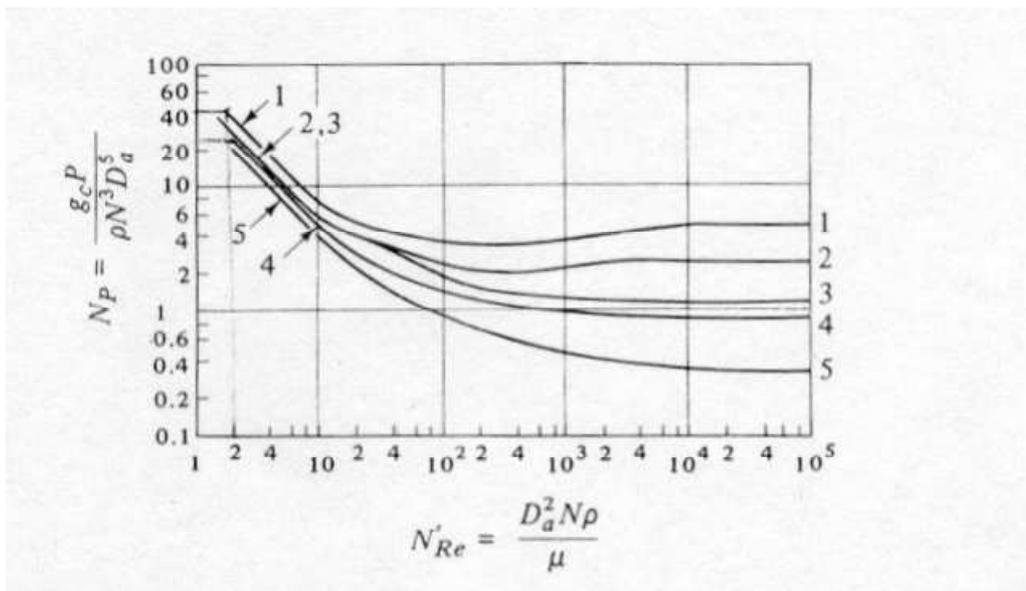
$$N_p = \text{N}^\circ \text{ Potencia} \rightarrow N_p = \frac{P g_c}{N^3 D_a^5 \rho}$$

g_c = factor de conversión de la ley de Newton, 9,8067 kg·m/kg·s

$$N_{Re} = \text{N}^\circ \text{ Reynolds} \rightarrow N_{Re} = \frac{D_a^2 N \rho}{\mu} ; \quad N_{Fr} = \text{N}^\circ \text{ de Froude} \rightarrow N_{Fr} = \frac{N^2 D_a}{g}$$

El cálculo de la potencia consumida se hace relacionando por medio de gráficos el número de Reynolds y el Número de Potencia. Estas gráficas dependerán de las características geométricas del agitador y de si están presentes o no, las placas deflectoras.

En la figura se muestran curvas de potencia para varias turbinas y propulsores en tanques con deflectores:



Correlaciones de potencia para diversos impulsores y deflectores.

Curva 1. Turbina de 6 aspas planas, $Da/W=5$, 4 deflectores con $Dt/J=12$.

Curva 2. Turbina abierta de 6 aspas planas, 4 deflectores $Dt/J=12$.

Curva 3. Turbina abierta con 6 aspas a 45° , $Da/W=8$, $Dt/J=12$.

Curva 4. Propulsor, inclinación $2Da$, 4 deflectores $Dt/J=10$.

Curva 5. Propulsor, inclinación $= Da$, 4 deflectores con $Dt/J=10$.



Para bajos números de Reynolds, coinciden las líneas de N_p y de N_{Re} tanto para tanques con placas deflectoras, como sin ellas, y la pendiente de la línea en coordenadas logarítmicas es igual a -1. En este intervalo, el flujo es laminar, la densidad deja de ser un factor importante y la relación entre N_p y de N_{Re} se transforma en:

$$N_p N_{Re} = \frac{P g_c}{N^2 D_a^3 \mu} = K_L \Rightarrow P = \frac{K_L N^2 D_a^3 \mu}{g_c}$$

Esta ecuación solo puede emplearse para Reynolds menores de 10.

En tanques con placas deflectoras y para números de Reynolds superiores a 10.000, la función de potencia es independiente del número de Reynolds y la viscosidad deja de ser un factor. Las variaciones de N_{Fr} tampoco influyen. En este intervalo el flujo es completamente turbulento y la ecuación de potencia se transforma en:

$$N_p = K_T \Rightarrow P = \frac{K_T N^3 D_a^5 \rho}{g_c}$$

En la siguiente tabla se indican algunos valores de K_L y K_T para diferentes tipos de rodets y para tanques con cuatro placas deflectoras y una anchura igual al 10% del diámetro del tanque:

Tipo de Rodete	K_L	K_T
Hélice, paso cuadrado, 3 palas	41	0,32
Hélice, paso 2, 3 palas	43,5	1
Turbina de disco con 4 palas planas	60	5,31
Turbina de disco con 6 palas planas	65	5,75



Turbina con 6 palas curvas	70	4,8
Turbina de ventilador, 6 palas 45 °	70	1,65
Turbina cerrada de 6 palas curvas	97,5	1,08
Turbina cerrada por anillo difusor sin tabiques deflectores	175,5	1,12
Palas planas, 2 hojas, $D_a/W = 4$	43	2,25
Palas planas, 2 hojas, $D_a/W = 6$	36,5	1,7
Palas planas, 2 hojas, $D_a/W = 8$	33	1,15
Palas planas, 4 hojas, $D_a/W = 6$	49	2,75
Palas planas, 6 hojas, $D_a/W = 6$	71	3,82

ALMACENAMIENTO DE COMPUESTOS

Es de vital importancia los sistemas de almacenamiento de los distintos productos empleados para el desarrollo del proceso. Es por ese motivo por el que se disponen de varias zonas de almacenamiento de productos atendiendo a su naturaleza, peligrosidad y uso a lo largo de las distintas etapas de tratamiento que se llevan a cabo.

Almacenamiento de Cal Viva

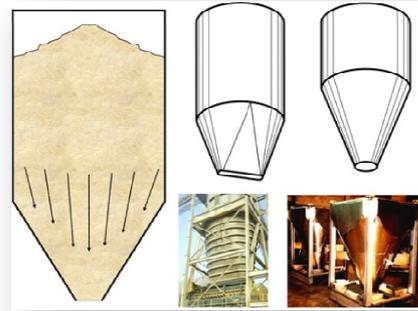
Los silos de almacenamiento de sólidos pueden ser de:

- Flujo Másico:

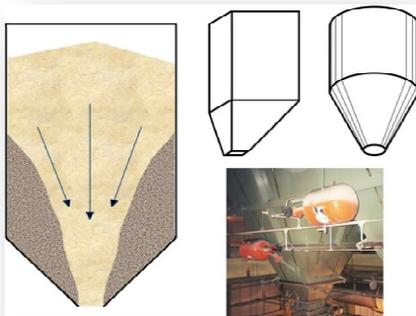
El flujo másico en silos presenta un patrón de flujo “primero en entrar-primero en salir” permitiendo que todo el material este en movimiento

durante la descarga. Este tipo de flujo se caracteriza por ser uniforme y confiable, no existiendo regiones estancadas de material y eliminando así la posibilidad de apelmazamiento o contaminación, también la separación por tamaño de los componentes del material almacenado es minimizada.

Por último, el tiempo de residencia es uniforme permitiendo la de-aireación efectiva de los materiales finos.



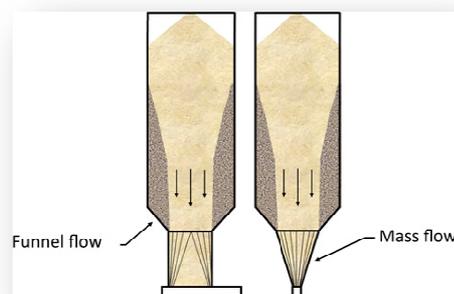
- Flujo de Embudo:



Muchos silos hoy en día presentan un patrón de flujo “primero en entrar-último en salir” en donde solo parte del material se mueve durante la descarga y el resto de la material permanece estancado. Este tipo de patrón de flujo conocido como flujo de embudo es aceptable si el sólido a granel es suficientemente grueso, no presenta tendencia de apelmazamiento, presenta libre fluidez (no es cohesivo) y si la separación de sus componentes (segregación) no es importante.

- Flujo Expandido

El flujo expandido es una combinación de flujo másico y flujo embudo, el cual se logra cuando una tolva de flujo másico es instalada debajo de una tolva de flujo embudo. Este tipo de arreglo se diseña para





activar un canal de flujo en la tolva de flujo embudo, de tal forma que se prevenga la formación de canales. Una de las principales ventajas de este patrón de flujo es el ahorro de espacio.

Características de la cal viva

La cal es un material que absorbe mucho la humedad, por lo que el silo debe permanecer cerrado en la parte superior y a su vez equipado con una chimenea o tubo para descomprimir el interior de la sobrepresión producida por el llenado. Para minimizar las emisiones de polvo a la atmósfera este tubo irá unido a un filtro de mangas.

Al ser un sólido lo que se almacena, las partículas de este producen abrasión sobre las paredes del silo al estar en movimiento, para evitar este fenómeno, el interior del silo está protegido por revestimientos de elementos vitrificados.

En el fondo se instalará una tolva con un ángulo de 25° con la vertical del silo. A esta tolva se le colocan vibradores en las paredes debido a que la cal es un fluido pulverulento y es necesario este tipo de complementos para que no se formen arcos o bóvedas que pudiesen complicar el flujo de salida. La tolva irá unida al dosificador sinfín que lleva la cal hasta el apagador, el cual ya se ha mencionado anteriormente.

Almacenamiento de los baños ácidos de decapado

Los tanques se instalarán y diseñarán conforme a lo dispuesto en la Ley 11/2003, de Abril, de Prevención Ambiental de Castilla y León y con las especificaciones técnicas marcadas por la legislación estatal, regional o local vigente en materia de instalaciones industriales.

Algunas de las normas básicas que deben cumplir los tanques de almacenamiento de productos ácidos son:

- Deben tener orificios de ventilación y de rebalse



- Estar ubicados en zonas abiertas y protegidas de los rayos solares y otras fuentes de calor.
- Los equipos y accesorios eléctricos deben ser de un tipo a prueba de líquidos corrosivos y deben ser de bajo voltaje, de tal forma que no produzcan chispas.
- Alrededor de los estanques debe construirse una taza de contención para retener derrames o por colapso del estanque. Esta debe ser impermeable.
- Para neutralizar los posibles derrames deberá existir un depósito con cal viva o caliza cercano.
- Deben estar correctamente señalizados

Teniendo en cuenta estas especificaciones, se han elegido depósitos atmosféricos de doble pared acero-acero de la empresa LAPESA, donde la doble pared actúa de cubeta en caso de fugas.

Estos depósitos contarán con acabados interiores específicos para cada ácido, así como un recubrimiento externo de poliuretano altamente resistente a la corrosión de cualquier origen. Además todos irán instalados en el aire con los apoyos indicados por el fabricante.

El tanque irá recubierto en su interior con una capa de fibra de vidrio para evitar la corrosión producida por los componentes ácidos que se van a almacenar.

Las principales propiedades de la fibra de vidrio son un buen aislamiento térmico, inerte a ácidos y soporta altas temperaturas. Las características de la fibra de vidrio permiten que este material sea fácilmente moldeable, lo que reduce los costes de fabricación. Dentro de la fibra de vidrio existen 5 tipos, en este caso se escoge el tipo C, que confiere una alta resistencia a agentes químicos.



Almacenamiento lechada de cal

En este proceso los tanques que se van a utilizar serán de acero inoxidable y tendrán el fondo curvo para tener una buena agitación, ya que la lechada permanecerá en ellos durante casi 24 horas. El recubrimiento interior también será de fibra de vidrio pero en este caso el tipo será AR, el cual posee un alto contenido en óxido de circonio, el cual le confiere una buena resistencia a los álcalis.

Estos depósitos irán provistos de agitadores instalados por su parte superior, necesarios para el proceso de producción de lechada de cal, así como para mantener esta en continuo movimiento hasta su uso. Debido a que los tanques deben llevar agitadores también se instalan 4 deflectores en la pared para redireccionar el fuljo.

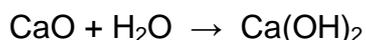
PRODUCCIÓN DE LECHADA DE CAL

Para el proceso de neutralización se necesita de una base para llevarlo a cabo. En este caso se ha elegido lechada de cal que parte se obtiene de una planta de acetileno cercana y el resto se fabrica in situ.

Teoría del apagado de Cal Viva

Existen dos tipos de cal: la cal viva (CaO) y la cal apagada (Ca(OH)₂), también existe la lechada de cal que no es más que cal apagada con un exceso de agua.

La cal apagada se obtiene a partir de la cal viva haciendo una reacción estequiométrica con agua:



Esta reacción de hidratación, produce 15.300 calorías/mol, siendo su cinética incrementada hasta aproximadamente los 100 °C. De 100 °C hasta alrededor



de 540 °C la velocidad de reacción disminuye y sobre los 549 °C la reacción se invierte. Este proceso de hidratación cuando se realiza con la cantidad justa y precisa de agua se llama “Hidratación Seca”, en este caso el material del hidrato es un polvo muy fino y seco. Si se utiliza un exceso de agua, para la hidratación, el proceso es llamado “apagado” y en ese caso el hidrato resultante está en una forma de suspensión, pulpa, o lechada, donde las partículas de hidróxido de calcio se encuentran dispersas en agua.

De acuerdo a estos antecedentes y experiencias realizadas a escala de laboratorio, para lograr a cielo abierto esta reacción en forma eficiente, y lograr un polvo fino y seco, es recomendable utilizar alrededor de un 50% más de agua que la cantidad teórica estequiométrica.

En plantas con consumo elevado de lechada de cal, es interesante para el explotador apagar su propia cal, es decir, hacer lechada de cal a partir de cal viva.

La lechada de cal, se hace normalmente con un exceso considerable de agua, que va desde 2 1/ 2 partes agua con 1 parte CaO (alrededor de 40% de sólidos) a 6 partes agua con 1 parte CaO (alrededor de 15% de sólidos).

Factores que afectan al proceso de apagado

Temperatura de Hidratación o Apagado.

La temperatura de apagado es el factor más importante que afecta el tamaño de la partícula y la superficie específica de las partículas hidratadas. La temperatura más alta de apagado es de 98,9°C.

En algunas ocasiones cuando el apagado se efectúa a altas temperaturas, alrededor del punto de ebullición del agua, pueden desarrollarse “Puntos calientes” dentro de la lechada de cal, lo que causa que partículas hidratadas se cristalicen y aglomeren formando partículas grandes y planas con una reducida superficie específica.



Este problema es normal que aparezca en los apagadores de pasta, ya que operan a altas temperaturas, y en las áreas donde la agitación no es vigorosa.

Siempre desde un punto de vista teórico, son deseables temperaturas cerca de los 100°C, pero desde un punto de vista práctico es muy dificultoso apagar satisfactoriamente a esta alta temperatura sin tener problemas de seguridad o efectos adversos debido a la aglomeración. En el proceso de apagado temperaturas entre 71,7°C y 85°C son las más prácticas para una operación óptima.

El calor liberado debido a la reacción exotérmica es diferente para las diferentes calidades de CaO. Una cal quemada blanda de alta reactividad, genera un calor de 273 kilocalorías por kilogramo de cal viva. Una cal de baja reactividad produce aproximadamente un calor de 212 kilocalorías por kilogramo de cal viva.

Razón o Proporción Agua – Cal

La razón o proporción agua-cal, afecta al tiempo de hidratación influyendo en la temperatura del apagado. Una temperatura más alta disminuye tanto el tiempo de hidratación, como la solubilidad de la cal. Aunque controlar una proporción constante de agua-cal en el proceso de apagado no garantiza una temperatura constante, ya que la esta varía debido a la variación de la temperatura ambiental, la calidad del agua, y la reactividad de la cal, por lo que se requieren frecuentes ajustes del operador.

Intentar mantener la temperatura de una lechada de cal 10 veces menos concentrada, significa mantener en el sistema de preparación de lechada el agua en ebullición, o bien contar con un sistema de apagado de cal con la cantidad teórica mínima de agua, con un sistema de absorción de energía o enfriamiento brusco del mismo.



Por lo tanto, la mejor manera de mantener una proporción correcta de agua-cal es controlando la temperatura de hidratación.

Grado de Agitación Durante la Hidratación

La agitación es una variable que tiene mucha incidencia en la preparación de la lechada, ya que evita que ocurra una heterogeneidad de la temperatura en el sistema.

Cuando la agitación se baja y es deficiente, se obtiene por resultado temperatura desigual en el interior del molino de apagado, produciendo como resultado puntos calientes y fríos. Las zonas o puntos calientes son el resultado de temperaturas de apagado por sobre los 100°C. Como ya se ha mencionado, hidrataciones a estas temperaturas dan por resultado cristales hexagonales 2 veces más grandes y con área superficial reducida, aglomerando las partículas, adicionalmente en las zonas frías las partículas de cal viva se ahogan o quedan no hidratadas.

También una incompleta agitación de la cal en el agua con la que se prepara la lechada produce una aglomeración de los silicatos y aluminatos cálcicos que se enlazan con el hidróxido de calcio, generando una nueva partícula esférica de cal hidratada que envuelve y en capsula los silicatos-aluminatos.

Tiempo de Apagado

El tiempo de apagado, es el tiempo requerido para completar el proceso de hidratación. Este tiempo varía de una cal a otra. Una cal de alta reactividad se hidrata completamente en 2 – 3 minutos. Una cal de reactividad media se hidrata completamente en 5 – 10 minutos. Una cal de baja reactividad, con hard burnes lime, y cal con magnesio se hidrata en 15 – 30 minutos.



Temperatura del Agua

Más que la temperatura del agua en la preparación de la pulpa, suspensión o lechada, la velocidad con la cual se agrega el agua en la cal, tiene fuerte influencia en el proceso de hidratación, porque afecta la superficie específica de las partículas hidratadas o apagadas. La temperatura del agua entrante y la relación agua-cal afectan inversamente al tiempo de hidratación.

El agua fría de hidratación no debe tener contacto con la cal seca antes de entrar en el apagador, deben de hacerlo de forma separada, de manera que se disponga de tiempo para desarrollar la reacción de hidratación y la expansión natural al cambiar de óxido a hidróxido. Como consecuencia de esta reacción, hay un aumento en la temperatura por sobre los 65,5°C, la cual hay que controlar para evitar que ésta aumente indiscriminadamente generando una condición insegura de operación, como ya se ha explicado.

Si el agua fría y la cal entran en contacto bruscamente, se produce la condición llamada “ahogamiento” no dejando que la cal se hidrate. Como resultado habrá partículas de hidrato formadas bajo condiciones de “ahogamiento” las cuales serán más gruesas y reaccionarán más tardía y lentamente con el agua. Sin embargo, en las plantas de lechada de cal, donde se requiere una suspensión de partículas hidratadas, dado el gran volumen de agua y los equipos molturadores utilizados, este fenómeno en la práctica no ocurre, a causa de la rotura mecánica de las partículas, que va exponiendo nuevas y más pequeñas partículas al agua, por lo que la reacción de hidratación va ocurriendo correctamente.

Características del apagador

Desde que la temperatura es el factor más importante que afecta la superficie específica, el control de esta es esencial para tener un producto de calidad uniforme pero los estados óptimos de temperatura antes del proceso de apagado, varían de trabajo en trabajo, dependiendo de los equipos y de las condiciones del sitio de operación, además, controlar el proceso de apagado

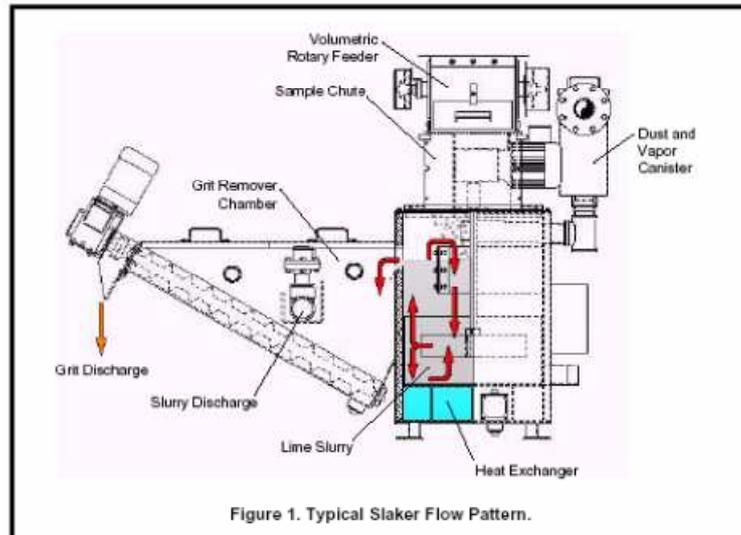


por medio de la relación agua-cal, la consistencia o densidad de la lechada no es el mejor camino, ya que las variables como la reactividad de la cal, la temperatura de entrada del agua y de la cal, dan como resultados variaciones en la calidad de la hidratación.

El camino óptimo para controlar el proceso de apagado es por el control de la temperatura variando la relación agua-cal como sea necesario. Por ello se instalará un *apagador de cal tipo Slaker* de la empresa CHEMCO SYSTEMS L.P. el cual agrega agua a la cal basándose en la temperatura final de la lechada.

Por lo que, en una operación normal, la cal es alimentada en una relación constante y el agua es agregada en la cantidad necesaria para mantener la temperatura constante de la lechada de cal con una posible variación de ± 17 °C, alrededor siempre de los 77 °C.

Como ya se ha explicado, la temperatura final de la lechada de cal se ve afectada por la reactividad de la cal viva así como los cambios en la temperatura del agua de apagado. El apagador con control de temperatura variará automáticamente la alimentación de agua, para mantener la temperatura constante y está diseñado generalmente para un tiempo de retención de 10 minutos a su máxima capacidad, tiempo suficiente para apagar una cal de reactividad media. Esto significa que una partícula de CaO se demora 10 minutos, desde que ingresa al Slaker hasta que entra a la segunda cámara, donde se remueve la arenilla.



Este tipo de apagador está compuesto por dos cámaras. La primera llamada “cámara de apagado”, donde la cal viva y el agua se mezclan. La segunda cámara es usada comúnmente para remover la arenilla. La lechada fluye entre estas cámaras por gravedad. La viscosidad ó densidad ó concentración (depende como se mida) es reducida en la segunda cámara con la adición de agua fría lo que permite que la arenilla, se decante en el fondo de la segunda cámara, done es sacada por medio de un transportador de tornillo. La adición de agua fría, también favorece el mantenimiento de la temperatura.

El apagador de cal tipo Slaker, generalmente en su partida usa una relación de 3,3 o 5 partes de agua por 1 de CaO, dependiendo de la fabricación del equipo y de la calidad del agua y de la cal.

La cal apagada en este equipo luego pasa a los tanques de almacenamiento de lechada, que ya se han explicado, donde termina de diluirse y permanece hasta el día siguiente que será utilizada para la neutralización de los baños ácidos de decapado.



PROCESO DE NEUTRALIZACIÓN-PRECIPITACIÓN

Como ya se ha explicado el proceso se basa en la neutralización de los baños ácidos de decapado que llegan de una planta cercana. La neutralización se lleva a cabo con lechada de cal parte, preparada anteriormente y parte que procede del proceso de acetileno.

Al neutralizar los baños precipitan los hidróxidos férricos formados y el sulfato cálcico en el caso del baño de ácido sulfúrico. Si estos precipitados se gestionan conjuntamente en la fase de filtración, no cabría la posibilidad de recuperar ningún producto en un proceso posterior. Por ello se ha decidido neutralizar y filtrar el baño de HCl por separado de los otros dos, ya que es el más voluminoso y de cual es factible una recuperación del ácido.

Realizar la misma operación para los baños de sulfúrico y nítrico no es una buena solución ya que en el primero de ellos todos los compuestos formados en la neutralización precipitan y no hay posibilidad de recuperar ningún producto, y en el segundo caso, sería un gasto tanto energético como instrumental excesivo para la cantidad tan pequeña que se podría recuperar.

Por eso estos dos baños se gestionaran conjuntamente y el precipitado obtenido al tener CaSO_4 , base fundamental en la industria cementera, se ofrecerá a una empresa de este sector como materia prima.

El proceso de neutralización se realizará de manera discontinua en 3 reactores de tanque agitado, en dos de ellos se neutraliza el baño ácido de HCl y en el restante los baños de ácido sulfúrico y nítrico. El proceso se realiza de manera discontinua porque los volúmenes que se gestionan diariamente son muy altos, por lo que una cantidad determinada de baño pasa al reactor donde se neutraliza con la lechada, cuando esta acaba el flujo de baño neutralizado pasa a un filtro. De esta manera mientras se filtra una etapa, la siguiente se está ya neutralizando en los reactores.

Los tres reactores funcionan con un tiempo de residencia de 20 minutos, suficientes para la neutralización del ácido y precipitación de los productos.



Características de los Reactores

Se instalarán reactores de acero inoxidable con recubrimientos de fibra de vidrio para que resista a la corrosión de los ácidos, con unas dimensiones de 2,5 m de diámetro y 3,1m de alto y con el fondo curvado y rasquetas en él para que en el proceso de descarga no quede ningún sedimento en el fondo del reactor.

También irán provistos de agitadores de turbina con 6 palas curvas, que giran a una velocidad de 100 r.p.m. con una potencia de 6,33kW. En este caso la agitación debe ser más vigorosa ya que los precipitados férricos son muy floculantes y tienden a depositarse con facilidad, por lo que se aplica esta agitación para mantenerlos en suspensión hasta el momento de la descarga en el filtro.

Los reactores no irán encamisados ya que la reacción de neutralización no produce cambios bruscos de temperatura. Lo que si deben llevar el un controlador de pH, por si la relación lechada-baño se desviase y fuese necesario parar el proceso de neutralización antes de tiempo.

PROCESO DE FILTRACIÓN

Cuando se neutralizan los baños agotados en los reactores se produce la precipitación de ciertos componentes, los cuales van a ser separados en una fase de filtración consecutiva a la salida del reactor, obteniendo una torta seca.

Para esta operación de separación no se utilizan decantadores antes de los filtros ya que todo el proceso de neutralización se realiza de forma discontinua, y los decantadores solo trabajan de forma continua. Debido a esta situación se decide instalar filtros prensa que filtran a medida que se obtiene el producto de reacción, sin tener que paralizar en ningún momento la actividad de los reactores debido a que también operan de manera discontinua.



Características del filtro

Para proceder a la filtración de estos componentes se han elegido filtros prensa de placas y marcos y más concretamente filtros de ciclo rápido en los cuales la alimentación se realiza por la parte superior del filtro no por el interior de las placas como se conoce normalmente.

La elección de un filtro prensa de ciclo rápido se debe a que los productos férricos tienen una alta velocidad de sedimentación y por lo tanto si la alimentación se realizase por el interior de las placas no se formarían completamente las tortas y la recuperación del filtrado sería más complicada.

El proceso de filtrado es el siguiente:

1. Llenado y Filtración

Como ya se ha dicho todas las cámaras se llenan por la parte superior del filtro y a la vez con el objetivo de reducir el tiempo de llenado y las presiones diferenciales que se pudieran producir. Durante la filtración el filtrado es evacuado a través de las telas filtrantes y los sólidos quedan retenidos dentro de las cámaras.

2. Drenaje

Se efectúa un corto soplado desde la parte superior de las placas, entre las telas y las placas filtrantes, consiguiendo así eliminar el filtrado que se queda depositado en las tuberías. Realiza este proceso para evitar que el filtrado se vuelva a introducir en la torta durante el posterior proceso de secado.

3. Prensado

Simultáneamente al proceso de secado se efectúa:



- a. Prensado mecánico de la torta mediante la compresión de las juntas de goma situadas en la placa. Este prensado optimiza el proceso de secado y reduce el consumo de aire comprimido dado que se cierran los huecos que deja el filtrado durante el secado.
- b. Prensado mediante membrana a alta presión. Este sistema evacua todo el agua que contiene la torta, y consigue optimizar el proceso de secado.

4. Secado por aire

El filtrado es eliminado mediante la introducción de aire comprimido a través de las tortas consiguiendo obtener humedades residuales muy bajas. Como ya se ha visto durante este proceso la torta se mantiene bajo compresión para reducir el consumo de aire comprimido.

5. Descarga

Una vez obtenida la humedad deseada el filtro se abre automáticamente permitiendo la caída de las tortas.

6. Lavado de telas

Una vez que la descarga de las tortas ha finalizado se introduce un caudal de agua dulce en las cámaras del filtro prensa por la parte trasera de las telas (a contracorriente). De esta forma se eliminan los restos de sólido que pudieran haber quedado atascados en las telas.

Como se puede comprobar eligiendo un filtro de ciclo rápido se consigue una torta completa y una excelente recuperación del filtrado, también beneficiado por el hecho de que los productos férricos no tienen comportamientos plásticos y por lo tanto su estructura facilita la extracción del filtrado.

Para este proyecto en concreto se han instalado 4 filtros prensa de la serie APN de la empresa Técnicas Hidráulicas S.A., con características individualizadas para las especificaciones de este proyecto. De todas maneras



habría que tener en cuenta que para una filtración óptima se deberían hacer pruebas de filtrado antes del diseño final.

Los 4 filtros están diseñados para unas dimensiones de las placas de 1,35 x 1,35, de ancho y largo, y con un espesor para las tortas de 40mm, además de establecer una humedad de la torta del 20%.

Las placas filtrantes tienen un núcleo de acero que evita roturas y una superficie plana que asegura la descarga total de la torta, además llevan unas juntas de goma aislantes en su perímetro que aseguran la estanqueidad de las cámaras y la vida útil de la tela.

Estas gomas aislantes y el sistema colector que trae incorporado el filtro hacen posible que se pueda recuperar el 100% del agua procedente del proceso de filtrado.

Un equipo fundamental dentro del sistema de filtración instalado es la bomba de lodos, en este caso de tipo pistón-membrana APN SIX, de la misma empresa que el filtro. Esta bomba ofrece altos volúmenes a baja presión para un llenado rápido de las cámaras de filtración, y bajos volúmenes a alta presión para una filtración efectiva. Esta bomba es necesaria para un llenado correcto de las cámaras sin producir presiones diferenciales entre las cámaras, y para extraer todo el filtrado y obtener una torta lo más seca posible.

Los filtros están totalmente automatizados, ya que llevan un PLC instalado que controla cada operación realizada por el filtro prensa, de forma que durante el proceso es posible fijar cualquiera de los parámetros del ciclo.

PROCESO DE CONCENTRACIÓN

En el proceso de neutralización del baño de ácido clorhídrico se han obtenido precipitados de hidróxidos de hierro y un filtrado que es una disolución acuosa de cloruro cálcico, como se ha visto en el proceso de filtración anterior.



Esta disolución acuosa de cloruro de calcio va a pasar a un proceso de evaporación en el cual se consigue aumentar su concentración a un nivel suficiente para poder proceder a su venta.

El cloruro de calcio tiene numerosas aplicaciones, principalmente como desecante en laboratorios ya que es un producto higroscópico, también se utiliza en la industria farmacéutica para afecciones ligadas al exceso o deficiencia de calcio en el organismo, como en otras muchas patologías, aunque una de las aplicaciones más novedosas es su uso en la cocina molecular, interviene junto con el alginato sódico en el proceso denominado esterificación básica, por el cual se crean bolitas tipo caviar del producto que se desee. Debido a sus múltiples aplicaciones se hace un proceso de concentración para poder utilizar este producto como fuente de ingresos a la empresa.

Características del depósito pulmón

El depósito pulmón recoge la solución de cloruro cálcico obtenido en la filtración del baño neutralizado de HCl. Este depósito cumple dos funciones principales:

- Homogeneiza la disolución obtenida tras la filtración: esto permite obtener una concentración más homogénea de la solución que sirve de alimento al evaporador, logrando disminuir las perturbaciones ocasionadas por el flujo de entrada de la disolución procedente del filtrado y permitiendo obtener una etapa de evaporación más eficiente y un producto final más uniforme.
- Ofrecer autonomía al evaporador: el evaporador trabaja de una forma continua, mientras que el resto del proceso ha sido discontinuo, obteniendo la disolución de cloruro cálcico por tandas. Por lo tanto es completamente necesario un depósito de estas características para seguir con el proceso de forma continua. Además el mayor gasto energético de un evaporador ocurre durante el arranque hasta su



estabilización, por lo que el flujo de alimentación ha de ser continuo e ininterrumpido hasta terminar el proceso.

El depósito pulmón consistirá en un depósito cilíndrico de 4,5 m de diámetro y 4,7 metros de alto, con una capacidad total de 75,5 m³ y una base cónica que permita la mejor evacuación del líquido.

Además el tanque debe estar cerrado en la parte superior por donde llegan las tuberías procedentes de los 2 filtros prensa encargados de obtener esta disolución. La descarga de esta disolución que alimenta al evaporador, se realizará por la parte inferior del tanque a través de una tubería de PVC y una válvula de compuerta manual que permanece únicamente abierta durante el proceso de evaporación. Esta válvula se emplea para interrumpir la alimentación en el caso de avería severa o incidencia en el equipo de evaporación.

Características del evaporador

La evaporación es uno de los principales métodos utilizados en la industria química para la concentración de disoluciones acuosas. Normalmente implica la separación de agua de una disolución mediante la ebullición de la misma en un recipiente adecuado, el evaporador, con separación del vapor. Si el líquido contiene sólidos disueltos, la disolución concentrada resultante puede convertirse en saturada, depositándose cristales.

Para realizar esta operación se utilizan los llamados “evaporadores”. Los sistemas de evaporadores industriales normalmente constan de: Un intercambiador de calor para aportar calor sensible y latente de evaporación al alimento líquido. Para lograr esto se utiliza generalmente vapor de agua. Un separador en el que el vapor se separa de la fase líquida concentrada, un condensador para condensar el vapor producido y una bomba de vacío. En las



plantas de proceso existen muchos tipos de evaporadores, cuya clasificación generalmente se basa en el diseño de su intercambiador de calor.

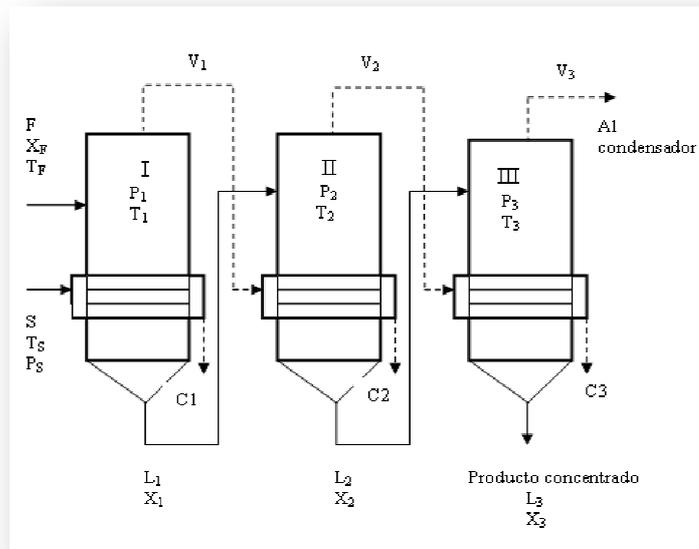
- *Evaporadores de tubos cortos.* Son relativamente baratos; requieren poca altura disponible, fácil instalación, proporcionan una buena transmisión de calor, pequeña circulación de líquido, no adecuados para líquidos viscosos, y adecuados para líquidos que no cristalicen.
- *Evaporadores de tubos largos verticales.* Los hay de tubos cortos y de tubos largos, los cuales pueden tener circulación forzada, utilizados para líquidos viscosos, porque se mejora el coeficiente U. Sin embargo, no son apropiados para disoluciones diluidas, pues los costes adicionales no compensan los beneficios obtenidos. Con muy diversos modelos, todos constan de un cambiador tubular con el líquido que se concentra en los tubos y el vapor por fuera, un espacio de vapor para separar el vapor formado del líquido, y una rama de retorno cuando son de circulación, (Flujo ascendente). Para productos muy sensibles al calor, (zumos de frutas, plasma sanguíneo, vitaminas, etc.) se utilizan otras variantes con flujo descendente a través de los tubos. En ellos, el vapor formado es arrastrado por el líquido y sale por el fondo de la unidad. (También hay evaporadores de tubos con evaporación súbita).
- *Evaporadores de película agitada.* Este tipo es un evaporador de película descendente, modificado, con un solo tubo encamisado provisto de un agitador interno. Es muy eficaz para productos muy viscosos sensibles al calor, (gelatina, latex de caucho, antibióticos, zumos, etc.). Por contra, sus desventajas son el elevado coste, el mantenimiento elevado de las partes internas móviles, y su pequeña capacidad.
- *Evaporador de placas:* Consta de una serie de placas provistas de juntas montadas en un marco. El evaporador funciona con un solo paso,



constando cada unidad de una película ascendente, otra descendente, y dos secciones de vapor. El líquido concentrado y el vapor pasan a un separador tipo ciclón, donde se separan ambos, pasando el vapor a un condensador o al siguiente efecto. También se han desarrollado diversos modelos según las características del líquido.

En cualquier caso, dentro de la operación de evaporación, el costo más importante del proceso es el vapor de agua consumido. Por lo tanto los métodos que tiendan a reducir este consumo (o de economía) son muy atractivos. Cuando se utiliza un solo evaporador, el vapor procedente del líquido en ebullición se condensa y se desecha. Este método recibe el nombre de evaporación de *simple efecto*. De otra forma; si el calor suministrado en el primer efecto se utiliza para vaporizar al solvente; este vapor, a su vez, se utiliza como medio de calentamiento del siguiente efecto y así sucesivamente, hasta que el vapor generado en el último efecto se envía al condensador, este método de operación de evaporadores en serie es el llamado evaporación de *múltiple efecto*.

Es conveniente señalar que debido a razones económicas, se acostumbra diseñar a estos evaporadores de tal manera que sean del mismo tamaño, es decir, que sus áreas de transferencia de calor sean iguales. En este estudio de los evaporadores de múltiple efecto, cada uno se denomina “cuerpo o efecto” y se van a numerar siempre en la dirección del flujo del vapor de agua producida.



Para el diseño de un sistema de múltiple efecto se debe tomar una decisión para ensamblar el diagrama de flujo. Esto tiene que ver con la dirección del flujo del líquido a concentrar. Existen diversas formas en que la solución a concentrar puede ser alimentada a los evaporadores de múltiple efecto, las más comunes pueden ser:

- 1) *Corriente directa o paralela*. La solución a concentrar se alimenta al primer efecto y fluye hacia el siguiente evaporador en la misma dirección que el vapor de calefacción. La concentración de la solución aumenta desde el primer efecto hasta el último.
- 2) *Contracorriente*. La alimentación entra en el último evaporador y se retira como producto concentrado en el primer efecto.
- 3) *Corrientes mixtas*. Se trata de una combinación de los tipos de arreglos anteriores para formar un arreglo diferente.

La elección de alguno de estos arreglos depende principalmente de las características de la solución a concentrar. El problema de determinar la dirección de la alimentación es, como muchos problemas de transferencia de calor, una consideración económica. Los flujos a contracorriente pueden o no conducir a menor superficie de calentamiento, dependiendo de la cantidad de agua que vaya a evaporarse y de la viscosidad de la solución final. El costo de



vapor será menor para flujos a contracorriente si la alimentación está fría, y menor para los flujos paralelos si el licor que se alimenta está aproximadamente a la temperatura de operación del primer efecto, o mayor.

En este proceso se ha decidido instalar un evaporador de múltiple efecto para ahorrar vapor vivo, con tres efectos por los cuales los flujos circulan en paralelo ya que el aumento de temperatura necesario no es muy alto.

Los distintos efectos del evaporador se diseñan para que tengan todos el mismo área de intercambio, consiguiendo así tres efectos de unos 87 m² cada uno.

Memoria realizada por la Ingeniera Técnica Industrial

Elena Domínguez Hernández

Valladolid, Septiembre de 2012



CÁLCULOS

DATOS DE PARTIDA

Capacidad de tratamiento: 18.000 T/año

Funcionamiento: 250 días/año

Producción	Producto	Concentración	Densidad
48 t/día	Baño agotado de HCl	HCl	40 g/l
		Fe ²⁺	100 g/l
20 t/día	Baño agotado de H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	40 g/l
		Fe ²⁺	100 g/l
4 t/día	Baño agotado de HNO ₃	HNO ₃	40 g/l
		Fe ²⁺	100 g/l
15 t/día	Cal de fabricación de acetileno	Ca(OH) ₂	200 g/l
		Insolubles	65 g/l

PRODUCCIÓN DE LECHADA DE CAL

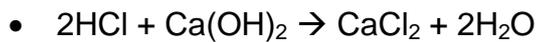
Para el proceso de neutralización se necesita de una base para llevarlo a cabo. En este caso se ha elegido lechada de cal que parte se obtiene de una planta de acetileno cercana y el resto se fabrica in situ, ya que para el uso de grandes cantidades de lechada sale más económico apagarla en la propia planta.



Cálculo de cal apagada

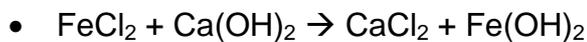
Conociendo la teoría de la preparación de lechada de cal se procede a calcular la cantidad de cal viva necesaria para formar la lechada, y para ello, se precisa saber la cantidad de hidróxido cálcico necesario para la neutralización y precipitación de los baños agotados.

Neutralización y precipitación del baño de HCl:



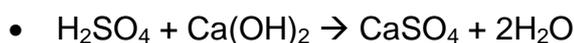
Por relación estequiométrica para neutralizar 73 g (36*2) de HCl necesitamos 74 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Sabiendo que en las 48 toneladas de baño agotado de HCl, con densidad 1,25 kg/l, la concentración de HCl es 40 g/l:

$$\frac{48 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{dia}}{1,25 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 40 \text{ g}_{\text{HCl}} / \text{l} \cdot \frac{74 \text{ g}_{\text{Ca}(\text{OH})_2}}{73 \text{ g}_{\text{HCl}}} = 1,579 \text{ t}_{\text{Ca}(\text{OH})_2} / \text{dia}$$



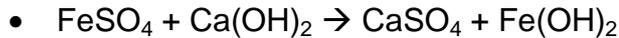
Por relación estequiométrica para neutralizar 56 g de Fe^{2+} necesitamos 74 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Sabiendo que en las mismas 48 toneladas de baño agotado de HCl la concentración de Fe^{2+} es 100 g/l:

$$\frac{48 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{dia}}{1,25 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 100 \text{ g}_{\text{Fe}^{2+}} / \text{l} \cdot \frac{74 \text{ g}_{\text{Ca}(\text{OH})_2}}{56 \text{ g}_{\text{Fe}^{2+}}} = 5,074 \text{ t}_{\text{Ca}(\text{OH})_2} / \text{dia}$$



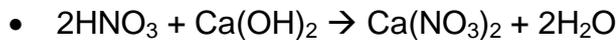
Por relación estequiométrica para neutralizar 98 g de H_2SO_4 necesitamos 74 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Sabiendo que en las 20 toneladas de baño agotado de H_2SO_4 , con una densidad de 1,20 kg/l, la concentración de H_2SO_4 es 40 g/l:

$$\frac{20 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{dia}}{1,20 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 40 \text{ g}_{\text{H}_2\text{SO}_4} / \text{l} \cdot \frac{74 \text{ g}_{\text{Ca}(\text{OH})_2}}{98 \text{ g}_{\text{H}_2\text{SO}_4}} = 0,503 \text{ t}_{\text{Ca}(\text{OH})_2} / \text{dia}$$



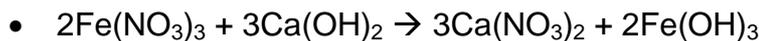
Por relación estequiométrica para neutralizar 56 g de Fe^{2+} necesitamos 74 g de Ca(OH)_2 . Sabiendo que en las mismas 20 toneladas de baño agotado de H_2SO_4 la concentración de Fe^{2+} es 100 g/l:

$$\frac{20 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{dia}}{1,20 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 100 \text{ g}_{\text{Fe}^{2+}} / \text{l} \cdot \frac{74 \text{ g}_{\text{Ca(OH)}_2}}{56 \text{ g}_{\text{Fe}^{2+}}} = 2,202 \text{ t}_{\text{Ca(OH)}_2} / \text{dia}$$



Por relación estequiométrica para neutralizar 126 g ($63 \cdot 2$) de HNO_3 necesitamos 74 g de Ca(OH)_2 . Sabiendo que en las 4 toneladas de baño agotado de HNO_3 , con densidad 1,15 kg/l, la concentración de HNO_3 es 40 g/l:

$$\frac{4 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{dia}}{1,15 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 40 \text{ g}_{\text{HNO}_3} / \text{l} \cdot \frac{74 \text{ g}_{\text{Ca(OH)}_2}}{126 \text{ g}_{\text{HNO}_3}} = 0,082 \text{ t}_{\text{Ca(OH)}_2} / \text{dia}$$



Por relación estequiométrica para neutralizar 112 g ($56 \cdot 2$) de Fe^{2+} necesitamos 222 g ($74 \cdot 3$) de Ca(OH)_2 . Sabiendo que en las mismas 4 toneladas de baño agotado de HNO_3 la concentración de Fe^{2+} es 100 g/l:

$$\frac{4 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{dia}}{1,15 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 100 \text{ g}_{\text{Fe}^{2+}} / \text{l} \cdot \frac{222 \text{ g}_{\text{Ca(OH)}_2}}{112 \text{ g}_{\text{Fe}^{2+}}} = 0,689 \text{ t}_{\text{Ca(OH)}_2} / \text{dia}$$

Consumo de hidróxido cálcico total:

$$1,579 + 5,074 + 0,503 + 2,202 + 0,082 + 0,689 = \mathbf{10,103} \text{ t}_{\text{Ca(OH)}_2} / \text{dia}$$



Parte de esta cantidad de Ca(OH)_2 que se necesita para el proceso de neutralización-precipitación lo adquirimos como subproducto de un proceso de fabricación de acetileno del cual se reciben al día 15 toneladas de lechada de cal con una densidad de 1,2 kg/l, en las cuales el Ca(OH)_2 está en una concentración de 200g/l, por lo tanto:

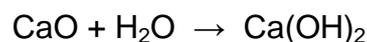
$$\frac{15 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{dist}} / \text{dia}}{1,20 \text{ kg}_{\text{dist}} / \text{l}} \cdot 200 \text{ g}_{\text{Ca(OH)}_2} / \text{l} = 2,500 \text{ t}_{\text{Ca(OH)}_2} / \text{dia}$$

$10,130 - 2,500 = 7,630 \text{ t}_{\text{Ca(OH)}_2} / \text{dia}$ cantidad de hidróxido cálcico que es necesario fabricar en la planta para poder realizar todo el proceso de neutralización.

Producción de lechada de cal

La lechada de cal que se tiene que preparar tendrá que asumir la misma concentración, 200 g/l, que la lechada proveniente de la fabricación de acetileno, para no causar problemas en los cálculos posteriores y, además, así poder almacenarla en el mismo lugar si fuese necesario.

La cantidad de cal viva que se requiere se obtiene de forma estequiométrica a partir de la reacción de apagado:



Como la reacción es mol a mol (56 g de CaO para obtener 74 de Ca(OH)_2) la cantidad de cal viva necesaria es:

$$7,630 \text{ t}_{\text{Ca(OH)}_2} / \text{dia} \cdot \frac{56}{74} = 5,774 \text{ t}_{\text{CaO}} / \text{dia}$$

La cal viva comercial elegida para nuestro proceso productivo es la *cal CL 90 Q clasificado* de la empresa CALES DE PACHS, S.A. con una densidad aparente de 900 g/l y una pureza del 94,23%, por lo tanto la cal comercial necesaria será:



$$5,774t_{CaO_{pura}} / dia \cdot \frac{100}{94,23} = 6,128t_{CaO} / dia$$

Sabiendo la cantidad de cal viva comercial necesaria para producir la lechada, ahora se calcula el agua que se tiene que utilizar para producir esta lechada.

En la lechada final se debe tener 7,630 t de $Ca(OH)_2$ en una concentración de 200 g/l, por lo tanto la cantidad de lechada total será:

$$\frac{7,630 \cdot 10^3 kg_{Ca(OH)_2_{puro}}}{200 kg_{Ca(OH)_2_{pura}} / m^3_{lechada}} = 38,149 m^3_{lechada}$$

Como se ha dicho anteriormente, se necesita que la lechada producida tenga las mismas características que la recibida del proceso de acetileno, por lo que esta debe tener una densidad de 1,20 kg/l, obteniendo:

$$38,149 m^3_{lechada} \cdot 1,20 t / m^3 = 45,779 t_{lechada}$$

Por una simple resta de la cantidad de lechada menos la cantidad de $Ca(OH)_2$ se obtiene el agua necesaria para conseguir la lechada requerida:

$$45,779 - 6,128 = 39,652 t_{agua}$$

Como la densidad del agua es 1 kg/l, se deben de utilizar 39,652 m³ de agua para producir las 45,779 toneladas de lechada diarias.

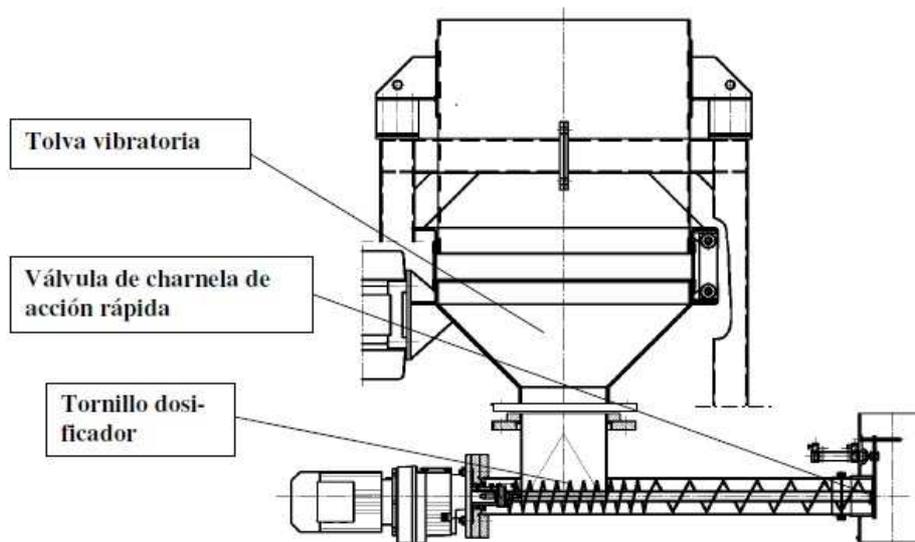
Características del apagador

En el proceso que se está dimensionando se deben apagar 5,774 toneladas de cal viva, que realmente son 6,128 toneladas de cal comercial, por lo tanto teniendo en cuenta que el apagador exige inicialmente una relación cal-agua entre 3 y 5 partes de agua por una de cal, se escoge una relación media para el apagador de 4 partes de agua por 1 de cal, lo cual nos lleva a que se utilizaran unas 24,510 toneladas de agua(4·6,128).

El apagador de tipo Slaker se puede adquirir en los siguientes tamaños disponibles:

MODELO	CAPACIDAD MAXIMA LB/HR	CAPACIDAD MAXIMA TON/HR	AGUA DE APAGADO GPM	AGUA MÁXIMA REQUERIDA PARA LECHADA DE 15 %	MOTOR DEL SLAKER EN HP 1era/2da CAMARA
40.01	250	0.1134	1.9	3.3	1.5
40.02	500	0.2268	3.9	6.7	1.5
40.02B	1000	0.4536	7.9	13.3	1.5
40.03	1500	0.6804	11.9	20.0	1.5
40.03B	2000	0.9072	15.9	26.6	5.0
40.04	3000	1.3608	23.9	39.9	5.0
40.04B	4000	1.8144	31.9	53.3	5.0
40.05	5000	2.2680	39.9	66.6	5.0
40.06	6000	2.7216	47.9	79.9	7.5
40.08	8000	3.6287	63.9	106.6	10.0
40.12	12000	5.4431	95.9	159.8	10.0/0.5
40.16	16000	7.2525	127.9	213.1	15.0/0.5
40.24	24000	10.8862	191.8	319.7	15.0/10.0

Para cargar en el apagador esta cal viva se emplazará en el silo de almacenamiento, un dosificador sinfín vibratorio con sistema de pesada (“Dosificador sinfín vibratorio `solids´ tipo DSV) que transporta esta cal desde el silo hasta el apagador.





Características:

- Diámetro nominal de la hélice: 80, 100, 150 mm
- Longitudes de transporte: 500 - 2000 mm
- Velocidad de dosificación volumétrica: 10 - 3000 dm³/h

El tornillo dosificador que lleva la cal hasta al apagador lo hace a una velocidad máxima de 3 m³/h, o lo que es lo mismo 0,05m³/min, por lo que si se toma esta velocidad, a los 10 minutos habrá 0,5 m³ de cal que son 450kg, ya que se asume para toda la cal que su densidad es de 900 kg/m³ que es la proporcionada por el fabricante.

$$0,5m^3_{CaOcomercial} \cdot 900kg / m^3 = 450kg_{CaO}$$

Para 450 kg de cal necesitamos: 450·4 = 1800 kg de agua

Por lo tanto en 10 minutos habrá un total de:

$$450+1800 = 2250 \text{ kg en el apagador}$$

Por lo que en una hora habría 2250·6 = 13500 kg

Esto es más cantidad que la posible asumible por el apagador de mayor tamaño, por lo tanto se necesitará utilizar una velocidad del tornillo menor.

Recalcular:

$$\text{Velocidad tornillo: } 2 \text{ m}^3/\text{h} = 0,03 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{En 10 minutos } \rightarrow 0,3m^3_{CaOcomercial} \cdot 900kg / m^3 = 300kg_{CaO}$$

$$\text{Cantidad de agua en 10 minutos } \rightarrow 300 \cdot 4 = 1200 \text{ kg agua}$$

$$\text{Total} = 300+1200 = 1500 \text{ kg cada 10 minutos}$$

En 1 hora se gestionan: 1500·6 = 9000 kg → en este caso si es suficiente con el apagador de mayor tamaño (modelo 40.24).



Si cada 10 minutos se apagan 300 kg de CaO y en total es necesario apagar 6,128 toneladas, el tiempo en realizar esta operación será de:

$$\frac{6,128 \cdot 10^3 \text{ kg}_{CaO}}{300 \text{ kg} / 10 \text{ min}} = 204,3 \text{ min} = 3,4 \text{ h}$$

En total se tardan 204,3 + 10 minutos (que tarda en salir la primera cal apagada) = 214,3 minutos. Casi 4 horas (3,57 h) en realizar el apagado de forma continua.

En total para el apagado de cal se han utilizado 24,510 toneladas de agua, sabiendo que la lechada que se requiere para el proceso tiene que tener unas características determinadas, se deben añadir:

$$39,652 \text{ m}^3 - 24,510 \text{ m}^3 = 15,142 \text{ m}^3 \text{ de agua}$$

Para realizar esta dilución se utilizará un tanque de envejecimiento, donde se conseguirá la dilución completa de la lechada, y otro de almacenamiento, en el cual permanecerá la lechada hasta que sea utilizada para el proceso.

El apagado de la cal se hace de forma continua durante 214,3 minutos, para que la dilución en el tanque de envejecimiento, también se haga de forma continua, se deben añadir 15,142 m³ durante el mismo tiempo. Para ello se instalará una bomba de 4,2 m³/h, que comenzará a introducir agua en el tanque de envejecimiento a los 10 minutos de comenzar el apagado, momento que coincide con el comienzo de salida de cal apagada:

$$\frac{15,142 \text{ m}^3}{214,3 \text{ min}} = 0,07 \text{ m}^3 / \text{min} = 4,2 \text{ m}^3 / \text{h}$$



Para conocer el volumen de los tanques que se necesitan tanto para el de envejecimiento como para el de almacenamiento, se calculan los volúmenes que tenemos en cada momento.

Aproximadamente cada 10 minutos habrá:

- 1,5 m³ de lechada (0,3 m³ de cal +1,2 m³ de agua)
- 0,70 m³ de agua que se añaden.
- Total = 2,2 m³ de volumen para 10 minutos

Por lo tanto en una hora se acumulan:

- 9 m³ de cal apagada(1,5 m³ de lechada·6)
- 4,2 m³ de agua(0,70 m³·6)
- Total = 13,2 m³ de lechada

La lechada se dejará diluyendo en el tanque de envejecimiento otros 10 minutos diluyéndose, por lo que se comenzará a trasvasar al tanque de almacenamiento la lechada diluida a los 20 minutos de comenzar la operación de apagado.

Para que ambos tanques no sean de gran tamaño, solo se trasvasará parte de la lechada al tanque de almacenamiento, instalándose una bomba que llevará la cal apagada hasta el tanque de envejecimiento, la cual tendrá que admitir el siguiente caudal.

$$\frac{6,128t_{CaO}}{0,9t / m^3} = 6,808m^3 + 24,510m^3 \rightarrow \frac{31,318m^3}{3,4h} = 9,2m^3 / h$$

Y otra bomba para trasvasar la lechada al tanque de almacenamiento desde el de envejecimiento, la cual estipulando que funcione durante un tiempo de 2 horas y media y que el flujo sea progresivo para que el tanque de envejecimiento nunca se quede vacío.



Como se ha dicho para tener un volumen equitativo en ambos tanques se comparan varios caudales de bombas para elegir el más acorde a los requisitos impuestos.

$$\frac{m^3}{h} \cdot 2,5h = m^3_{\text{tanque almacenamiento}}$$
$$m^3_{\text{tanque almacenamiento}} - m^3_{\text{total}} = m^3_{\text{tanque envejecimiento}}$$

Caudal Bomba	Tiempo	m ³ total tanque de almacenamiento	m ³ total tanque de envejecimiento
7 m ³ /h	2,5 h	17,500	20,649
7,5 m ³ /h	2,5 h	18,750	19,399
8 m ³ /h	2,5 h	20,000	18,149
8,5 m ³ /h	2,5 h	21,250	16,899

La opción más equitativa la proporciona el caudal de 7,5 m³/h, por lo que se elige este para el trasvase.

Aplicando el factor de seguridad del 4% se obtienen un volumen de 19,500 m³ para el tanque de almacenamiento y de 20,175 m³ para el tanque de envejecimiento. Teniendo en cuenta estos volúmenes finales que se consiguen se instalaran tanques de 21 m³ en ambos casos (las dimensiones de estos tanques se especifican en el siguiente apartado “Almacenamiento de Compuestos”).

ALMACENAMIENTO DE COMPUESTOS

Es de vital importancia los sistemas de almacenamiento de los distintos productos empleados para el desarrollo del proceso. Es por ese motivo por el



que se disponen de varias zonas de almacenamiento de productos atendiendo a su naturaleza, peligrosidad y uso a lo largo de las distintas etapas de tratamiento que se llevan a cabo.

Almacenamiento de Cal Viva

Como se ha calculado en el proceso de preparación de lechada, al día se necesitan 6,128 toneladas de cal viva para poder llevarlo a cabo.

La cal viva comercial de este proceso se compra a la empresa CALES DE PACHS S.A. con las especificaciones ya mencionadas. Esta empresa proporciona distintos tamaños de venta, desde sacos de pocos kilos a camiones volquete de 25 toneladas, pasando por big bag de 1000 kg cada uno. Para establecer la opción más favorable para este proceso productivo se estudian distintas posibilidades de compra, siempre teniendo en cuenta que debe existir un día de repuesto almacenado por si hubiese algún problema con el envío.

Se conoce que al día se gastan 6,128 t de cal, lógicamente no se quiere recibir cal todos los días ya que esto llevaría a unos costes por transporte muy altos, por lo que los big bag de 1000 kg son una cantidad muy pequeña para este proceso. Por ello se eligen camiones volquete de 25 toneladas.

Esta cantidad de cal recibida en cada envío facilita una autonomía de 4 días ($6,128 \text{ t/día} \cdot 4 \text{ día} = 24,512 \text{ t}$) de cal viva, pero hay que tener en cuenta el día de seguridad, por lo que la primera entrega proporcionan cal para 3 días.

Como la cantidad recibida no da justamente para 3 días existirá un excedente que se irá acumulando a lo largo de los días.

$$\text{Camión 1} \rightarrow 3 \text{ días} \cdot 6,128 \text{ t} / \text{ día} = 18,384 \text{ t} \rightarrow \text{Excedente} = 25 - 18,384 = 6,616$$

$$\text{Camión 2} \rightarrow 4 \text{ días} \cdot 6,128 \text{ t} / \text{ día} = 24,512 \text{ t} \rightarrow \text{Excedente} = 25 + 6,616 - 24,512 = 7,104$$



A parte de las 6,128 t que siempre habrá en el silo se acumula un excedente de $7,104 - 6,616 = 0,488$ toneladas.

Llegará un instante en el cual este excedente superará el valor de 6,128 t, momento en el que se podrá utilizar para la fabricación de la lechada de ese día. Este suceso ocurrirá cuando se hayan realizado 13 envíos (contando con el primero), y a partir de estos cada 14. Este es el esquema de lo que ocurre:

	Toneladas por entrega	Excedente	Gasto	Días hasta la siguiente recepción
Entrega 1	25	0	18,384	3
Entrega 2	25	6,616	24,512	4
Entrega 3	25	7,104	24,512	4
Entrega 4	25	7,592	24,512	4
Entrega 5	25	8,08	24,512	4
Entrega 6	25	8,568	24,512	4
Entrega 7	25	9,056	24,512	4
Entrega 8	25	9,544	24,512	4
Entrega 9	25	10,032	24,512	4
Entrega 10	25	10,52	24,512	4
Entrega 11	25	11,008	24,512	4
Entrega 12	25	11,496	24,512	4
Entrega 13	25	11,984	24,512+6,128	5
Entrega 14	25	6,344	24,512	4



Para calcular las dimensiones del silo escogemos el momento en el cual se acumula mayor cantidad de cal en el silo. Este será justo en la entrega 13 en la cual se deben almacenar las 25 t que se reciben, las 11,984 t de excedente que se acumulan. Esto hace un total de 36,984 toneladas de cal.

Como ya se ha dicho la densidad de la cal adquirida, es de 900 kg/m^3 , por lo que se tiene un volumen total de:

$$\frac{36,984t}{0,9t / m^3} = 41,093m^3$$

Aplicando el factor de seguridad del 4% se debe almacenar un volumen de $42,737 \text{ m}^3$, por lo que se instala un silo de 43 m^3 , de tipo flujo másico, se elige este tipo de silo para que la cal que se va recibiendo cada 4 días sea la última en salir y no se produzcan atascos. Las dimensiones son de 3 metros de diámetro y una altura de 6,1 metros.

$$43m^3 = \pi \cdot (1,5)^2 \cdot h \Rightarrow h = 6,1m$$

Se podría haber elegido un silo de 3,5 de diámetro y 4,5 metros de altura, pero en este tipo de depósitos una diferencia mayor entre la altura y el diámetro favorece la salida del producto.

Almacenamiento de los baños ácidos de decapado

Los volúmenes de baños ácidos que se manejan son:



Producción	Producto	Densidad	Volumen
48 t/día	Baño agotado de HCl	1,25 kg/l	38,400 m ³
20 t/día	Baño agotado de H ₂ SO ₄	1,20 kg/l	16,667 m ³
4 t/día	Baño agotado de HNO ₃	1,15 kg/l	3,478 m ³

Los baños llegan a la planta cada dos días, por lo tanto se instalarán:

- 2 tanques de 40 m³ cada uno, para los baños agotados de HCl
- 1 tanque de 40 m³ para el baño agotado de H₂SO₄
- 1 tanque de 7,5 m³ para el baño agotado de HNO₃

Las dimensiones de los tanques de acuerdo a la norma UNE 62350-2* son:

- Tanque de 40 m³: diámetro 2,5m y longitud 8,58m
- Tanque de 7,5 m³: diámetro 1,75m y longitud 3,41m

* UNE 62350-2: Tanques de acero para almacenamiento de carburantes y combustibles líquidos. Tanques de capacidad mayor de 3 000 litros. Parte 2: Tanques horizontales de doble pared (acero-acero)

Almacenamiento lechada de cal

Como se ha calculado la lechada de cal que se produce en la planta se almacena en dos tanques de 21 m³ cada uno. Además se instala otro depósito de las mismas características pero de 14m³ para almacenar la lechada de cal que llega del proceso de acetileno.



Estos tanques deben ir provistos de agitadores para mantener la lechada en continuo movimiento hasta el momento de su uso pero con una velocidad baja ya que no se requiere mantener sólidos en suspensión ni una mezcla intensa, aparte de que la lechada de cal es una solución muy diluida.

Como ya se ha explicado, para mantener una buena agitación la relación entre la altura del líquido(H) y el diámetro del tanque(D_t) debe estar entorno a 1, por lo tanto se buscan las dimensiones del tanque que más se ajusten para cumplir esta relación.

- Tanque de envejecimiento (21m^3): $D_t = 3$; Altura = 3

El volumen que se hay en este tanque es de $19,399\text{ m}^3$ por lo que $H= 2,7$. La relación es de $H/D_t = 0,91$

- Tanque de almacenamiento (21m^3): $D_t = 3$; Altura = 3

El volumen que se hay en este tanque es de $18,750\text{ m}^3$ por lo que $H= 2,7$. La relación es de $H/D_t = 0,88$

- Tanque de almacenamiento (14m^3): $D_t = 2,5$; Altura = 2,86

El volumen que se hay en este tanque es de $12,5\text{m}^3$ por lo que $H= 2,55$. La relación es de $H/D_t = 1,02$

Agitadores para los tanques de lechada de cal

Como se ha mencionado anteriormente los tanques de almacenamiento de lechada de cal llevarán instalados unos agitadores que mantendrán la dilución en continuo movimiento hasta su uso.

Teniendo en cuenta que a la lechada de cal al estar tan diluida se le asume una viscosidad como la del agua, y que únicamente se necesita una agitación baja, se establece una velocidad de rodete de 30 rpm.



Teniendo en cuenta la teoría de agitación, se instalarán agitadores de dos palas planas que tendrán un diámetro de rodete del 60% del diámetro del tanque y una relación diámetro/anchura, $D_a/W=6$.

Para poder determinar la potencia del agitador, primero se calcula el número de Reynolds para saber en qué rango se trabaja.

Tanques de 21 m^3

Datos	
D_t	3m
D_a	1,8m
N	30 rpm = 0,5 rps
P	$1,20 \cdot 10^3\text{ kg/m}^3$
μ	$1,102 \cdot 10^{-3}\text{ kg/m}\cdot\text{s}$
g_c	$9,8067\text{ kg}\cdot\text{m/kg}_f\cdot\text{s}$

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 N \rho}{\mu} = 1,76 \cdot 10^6$$

Como el Reynolds es mayor de 10.000 tenemos flujo turbulento y se calcula la potencia a partir de K_T , como la relación $D_a/W=6$ el valor de $K_T = 1,7$.

$$P = \frac{K_T N^3 D_a^5 \rho}{g_c} = 491,34 \frac{\text{kg}_f \cdot \text{m}}{\text{s}} = \mathbf{4,82\text{kW}}$$

Características del agitador

Diámetro del rodete, $D_a = 1,8\text{ m}$

Anchura de las palas, $W = 0,3\text{ m}$

Distancia hasta el fondo del tanque, $E = D_a = 1,8\text{ m}$

Se instala un agitador vertical con motor reductor de la empresa Induvalma S.L. modelo S.S.C. 30-40, que proporciona una potencia máxima de 15 kW.



Tanque de 14 m³

Datos	
D _t	2,5m
D _a	1,5m
N	30 rpm = 0,5 rps
P	1,20·10 ³ kg/m ³
μ	1,102·10 ⁻³ kg/m·s
g _c	9,8067 kg·m/kg _f ·s

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 N \rho}{\mu} = 1,23 \cdot 10^6$$

Como el Reynolds es mayor de 10.000 tenemos flujo turbulento y se calcula la potencia a partir de K_T, como la relación D_a/W=6 el valor de K_T = 1,7.

$$P = \frac{K_T N^3 D_a^5 \rho}{g_c} = 197,46 \frac{\text{kg}_f \cdot \text{m}}{\text{s}} = \mathbf{1,94 \text{ kW}}$$

Características del agitador

Diámetro del rodete, D_a = 1,5 m

Anchura de las palas, W = 0,25 m

Distancia hasta el fondo del tanque, E = D_a = 1,5 m

Se instala un agitador vertical con motor reductor de la empresa Induvalma S.L. modelo S.S.C. 12-17, que proporciona una potencia máxima de 7,5 kW.

Para poder utilizar la constante K_T en todos los casos se deben instalar cuatro deflectores de una anchura(J) igual al 10% del diámetro del tanque. Por lo tanto la anchura de estos será de 0,3 m en el caso de los tanques de 21 m³ y de 0,25 m para el tanque de 14 m³.



REACCIÓN DE NEUTRALIZACIÓN-PRECIPITACIÓN

Como ya se ha explicado el proceso se basa en la neutralización de los baños ácidos de decapado que llegan de una planta cercana. La neutralización se lleva a cabo con lechada de cal parte, preparada anteriormente y parte que procede del proceso de acetileno.

Datos:

		t	ρ	m^3	Total m^3
Baño HCl	HCl	48	1,25	38,400	71,665
	Ca(OH) ₂	6,653	0,2	33,265	
Baño H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	20	1,2	16,667	30,196
	Ca(OH) ₂	2,706	0,2	13,529	
Baño HNO ₃	HNO ₃	4	1,15	3,478	7,334
	Ca(OH) ₂	0,771	0,2	3,856	

El volumen total a gestionar es de 109,194 m^3 , pero como se puede observar los volúmenes individuales son muy dispares, siendo aproximadamente 10 veces más la cantidad de ácido clorhídrico a gestionar que la de nítrico. Debido a este gran volumen de tratamiento y que se ha establecido hacer la neutralización en un turno de 7 horas y media al día, y por supuesto de una forma discontinua, los reactores elegidos para dimensionar el proceso y estudiar las posibles opciones son reactores de 15 m^3 de volumen.

Se establecen 7 horas y media debido a que el filtrado que es necesario realizar a continuación de la neutralización necesita media hora a mayores después de la última etapa de reacción, por ello se resta esa media hora para terminar la neutralización y la filtración en un turno de 8 horas.



Para el estudio de las distintas posibilidades de etapas de reacción, se tiene que conocer el tiempo de residencia de la neutralización. Para un proceso de neutralización básico el tiempo de residencia en el reactor de neutralización, del residuo y del agente neutralizante, oscila entre 5 y 15 minutos, para que la reacción sea efectiva. Sin embargo, la lechada de cal presenta una lenta velocidad de reacción en comparación con otros productos químicos utilizados en reacciones de neutralización, a pesar de ello, en este tipo de industrias es el neutralizador más utilizado debido a su bajo coste. Teniendo en cuenta estos factores y la formación de precipitados, el tiempo de residencia en el reactor se va a establecer en 20 minutos.

Opción 1

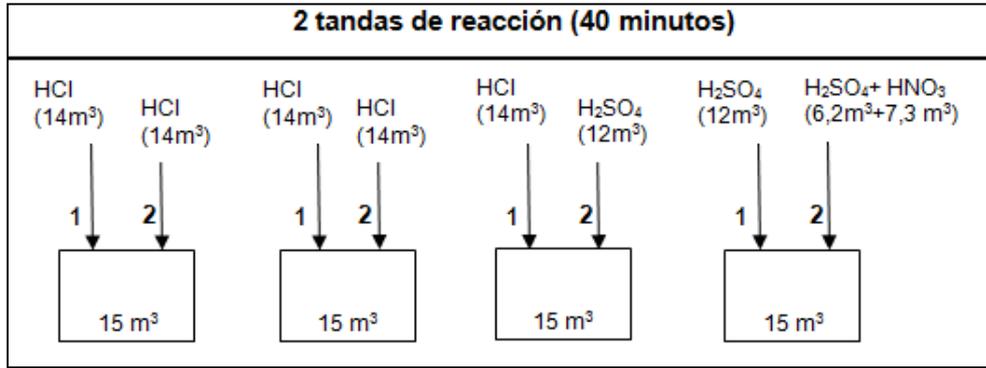
Se realizan 2 etapas de reacción siendo el tiempo total de reacción 40 minutos. Un turno de 7 horas y media son 450 minutos por lo tanto para esta opción tenemos:

$$410/4 = 102,5 \text{ minutos para cada etapa de llenado y de vaciado}$$

Para el caso del baño de ácido clorhídrico se calculará la forma de realizar las cargas de la forma más uniforme posible. Para que sea más completa la carga conjunta de baño de ácido sulfúrico y de ácido nítrico, en las dos cargas anteriores de sulfúrico se gestionaran 12 m^3 quedando $6,196 \text{ m}^3$ para la conjunta.

Volumen por tanda de reacción para el ácido clorhídrico:

$$\frac{71,665 \text{ m}^3}{5 \text{ tan das}} = 14,333 \text{ m}^3/\text{tan da}$$

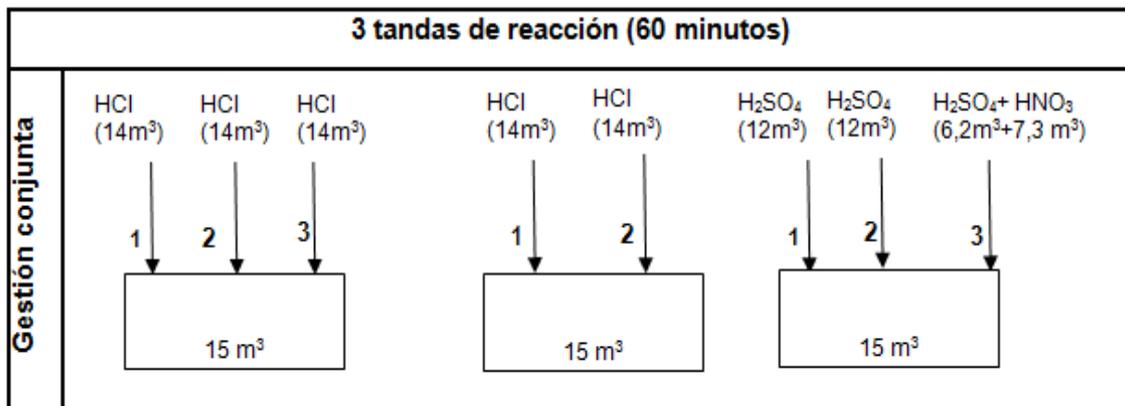


Opción 2

Se realizan 3 etapas de reacción siendo el tiempo total de reacción 60 minutos. Un turno de 7 horas y media son 450 minutos por lo tanto para esta opción tenemos:

$$\frac{390}{6} = 65 \text{ minutos para cada etapa de llenado y de vaciado}$$

Se dividen las cargas como en la primera opción para conseguir tandas más uniformes.





Opción 3

Se realizan 4 etapas de reacción siendo el tiempo total de reacción 80 minutos. Un turno de 7 horas y media son 450 minutos por lo tanto para esta opción tenemos:

$$\frac{370}{8} = 46,25 \text{ minutos para cada etapa de llenado y de vaciado}$$

Esta opción no es viable porque el tiempo restante para las etapas de llenado y vaciado es muy pequeño y conllevaría bombas de un tamaño excesivo.

Conclusión

La opción 3 queda descartada debido a los inconvenientes de tiempo que existen, por lo tanto a partir de ahora se estudiará la viabilidad entre las otras dos opciones.

En ambos casos ha de instalarse un reactor a mayores para no superar el tiempo estipulado si alguno de los reactores estuviera fuera de servicio.

Haciendo unos cálculos aproximados, la bomba para extraer el baño ya neutralizado de HCl, que sería la de mayor tamaño, tendría que tener una capacidad de unos 13,5 m³/h, para la opción 2, mientras que con la opción 1, la misma bomba sería de 9 m³/h. Lo cual no es una diferencia muy grande en cuanto a coste de la bomba y habría que tener en cuenta que se necesita una menos para la opción 2.

Otro factor a favor de la segunda opción es que se podría decir que se aprovechan más los reactores ya que se utilizan para tres etapas de reacción en vez de para únicamente dos.

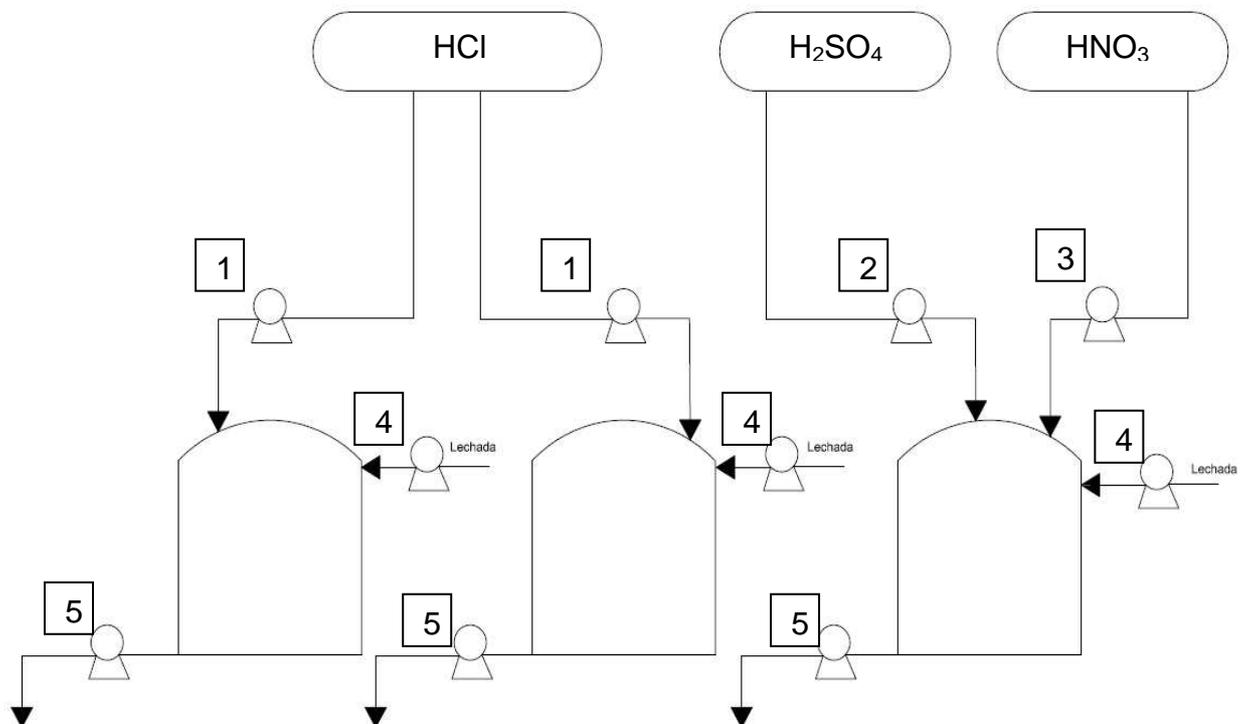
Como ya se ha mencionado los productos de reacción luego pasan a una fase de filtrado, por lo tanto para cada opción se generarán:



		Volumen máximo
Opción 1	HCl	42 m ³
	H ₂ SO ₄ + HNO ₃	25,5 m ³
Opción 2	HCl	28 m ³
	H ₂ SO ₄ + HNO ₃	13,5 m ³

Si se tienen en cuenta la instrumentación de la fase de separación como la base para la elección del número de reactores, hay que concluir que la opción 2 es la mejor, ya que un volumen menor a filtrar es una ventaja a la hora de diseñar el filtro.

Por lo tanto el proceso quedaría de la siguiente manera:





Bombas 1: llevan los baños de HCl hasta los reactores, el caudal necesario es de 7,3 m³/h

Bombas 2: llevan los baños de H₂SO₄ hasta los reactores, el caudal necesario es de 6,3 m³/h

Bombas 3: llevan los baños de HNO₃ hasta los reactores, el caudal necesario es de 6,5 m³/h

Bombas 4: llevan la lechada de cal hasta los reactores, el caudal necesario es de 6,3 m³/h

Bombas 5: llevan los baños neutralizados desde los reactores hasta los filtros prensa el caudal máximo necesario es de 13,5 m³/h.

Dimensiones de los Reactores

Como se ha elegido, los reactores tendrán un volumen de 15 m³, y sabiendo que tendrán que llevar agitadores, se elegirá un diámetro que proporcione una altura factible para que la relación entre ambos sea cercana a 1 consiguiendo una buena agitación. Por ello se han elegido reactores de 2,5 m de diámetro y por lo tanto 3,1m de altura.

La altura del líquido y la relación de esta con el diámetro, será en cada caso:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot H$$

Neutralización de baño de HCl: 14,333 m³ en cada tanda

$$H = 2,9\text{m} \rightarrow H/D = 1,17$$

Neutralización de baño de H₂SO₄: 12 m³ en cada tanda

$$H = 2,4\text{m} \rightarrow H/D = 0,98$$

Neutralización conjunta del baño de H₂SO₄ y HNO₃: 13,530 m³ en cada tanda

$$H = 2,8\text{m} \rightarrow H/D = 1,10$$



En todos los casos para un diámetro de 2,5 m se mantiene una buena relación con la altura de líquido para la instalación del agitador. Por lo que se afirma que ese diámetro es una buena elección.

Diseño del Agitador

El agitador elegido para este proceso será del tipo turbina con 6 palas curvas, y una velocidad de 100 rpm. Se han escogido estas características iniciales ya que al producirse la reacción de neutralización los hidróxidos de hierro precipitan en forma de pasta y por lo tanto será necesaria una agitación más vigorosa, que en el caso de la lechada.

En el caso de agitadores de turbina el diámetro de rodete tiene que estar entre un 30-50% del diámetro del tanque, eligiéndose en este caso una relación del 30% y una relación diámetro/anchura, $D_a/W=6$.

Para poder determinar la potencia del agitador, primero se calcula el número de Reynolds para saber en qué rango se trabaja.

Datos	
D_t	2,5 m
D_a	0,75 m
N	100 rpm = 1,67 rps
P	$1,20 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
μ	$1,102 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$
g_c	$9,8067 \text{ kg}\cdot\text{m/kgf}\cdot\text{s}$

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 N \rho}{\mu} = 1,02 \cdot 10^6$$

Como el Reynolds es mayor de 10.000 tenemos flujo turbulento y se calcula la potencia a partir de K_T , para un rodete de turbina con 6 palas curvas el valor de $K_T = 4,8$.

$$P = \frac{K_T N^3 D_a^5 \rho}{g_c} = 645,29 \frac{\text{kgf}\cdot\text{m}}{\text{s}} = \mathbf{6,33kW}$$



Características del agitador

Diámetro del rodete, $D_a = 0,75$ m

Anchura de las palas, $W = 0,125$ m

Distancia hasta el fondo del tanque, $E = D_a = 0,75$ m

Se instala un agitador vertical con motor reductor de la empresa Induvalma S.L. modelo S.S.C. 30-40, que proporciona una potencia máxima de 15 kW.

Para poder utilizar la constante K_T se deben instalar cuatro deflectores de una anchura(J) igual al 10% del diámetro del tanque. Por lo tanto la anchura de estos será de 0,25 m.

Entalpía de Reacción

Para saber si los reactores tienen que llevar un encamisado se han calculado las entalpías de reacción que se producen para cada uno de los baños.

Entalpías de formación			
Reactivos	ΔH°_f (kcal/mol)	Productos	ΔH°_f (kcal/mol)
HCl	-39,9	H ₂ O	-68,3
FeCl ₂	-100	Fe(OH) ₂	-135,9
H ₂ SO ₄	-212	Fe(OH) ₃	-197
FeSO ₄	-236,2	CaCl ₂	-209,15
HNO ₃	-49,2	CaSO ₄	-358,73
Fe(NO ₃) ₃	-165,5	Ca(NO ₃) ₂	-228,29
Ca(OH) ₂	-239,2		



Entalpías de reacción:

$$\Delta H_r^o = \sum(n \cdot \Delta H_f^o)_{prod} - \sum(n \cdot \Delta H_f^o)_{react}$$

	Reacción	ΔH_r^o (kcal)	ΔH_r^o TOTAL(kcal)
Baño de HCl	$2\text{HCl} + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	-26,75	-32,60
	$\text{FeCl}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{Fe(OH)}_2$	-5,85	
Baño de H_2SO_4	$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	-44,13	-63,36
	$\text{FeSO}_4 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{Fe(OH)}_2$	-19,23	
Baño de HNO_3	$2\text{HNO}_3 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{Ca(NO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	-27,29	-57,56
	$2\text{Fe(NO}_3)_3 + 3\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow 3\text{Ca(NO}_3)_2 + 2\text{Fe(OH)}_3$	-30,27	

Todas las reacciones son exotérmicas pero el desprendimiento de calor no es lo suficientemente alto como para instalar un sistema de encamisado a los reactores.

En consecuencia, se instalarán reactores de acero inoxidable con recubrimientos de vidrio para que resista a la corrosión de los ácidos, con unas dimensiones de 2,5 m de diámetro y 3,1m de alto, con rasquetas en el fondo, cuatro placas deflectoras de 0,25 m de ancho y agitadores de turbina con 6 palas curvas, que giran a una velocidad de 100 r.p.m. con una potencia de 6,33kW. Otra característica fundamental, es que deben llevar rasquetas en el



fondo para que en el proceso de descarga no quede ningún sedimento en el fondo del reactor.

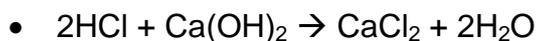
PROCESO DE FILTRACIÓN

Cuando se neutralizan los baños agotados en los reactores se produce la precipitación de ciertos componentes, los cuales van a ser separados en una fase de filtración consecutiva a la salida del reactor, obteniendo una torta seca.

Para poder diseñar los equipos necesarios para esta operación de separación lo primero que se debe hacer es calcular la cantidad de precipitados que se forman. Teniendo en cuenta que los precipitados formados son en su mayoría hidróxidos de hierro, los cuales son muy insolubles y que actúan a su vez como floculantes, se va a suponer que la reacción se produce al 100%.

Cantidad de Precipitados

Baño ácido de HCl



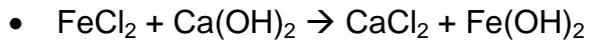
Por relación estequiométrica con 73 g (36*2) de HCl se forman 110 g de CaCl₂ y 36 g (18*2) de H₂O. Sabiendo que en las 48 toneladas de baño agotado de HCl, con densidad 1,25 kg/l, la concentración de HCl es 40 g/l y que se hacen 5 tandas de reacción iguales:

$$\frac{48 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{dia}}{5 \text{ tandas/dia} \cdot 1,25 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 40 \text{ g}_{\text{HCl}} / \text{l} \cdot \frac{36 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}}{73 \text{ g}_{\text{HCl}}} = 0,154 \text{ t}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{tanda}$$

$$\frac{48 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{dia}}{5 \text{ tandas/dia} \cdot 1,25 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 40 \text{ g}_{\text{HCl}} / \text{l} \cdot \frac{110 \text{ g}_{\text{CaCl}_2}}{73 \text{ g}_{\text{HCl}}} = 0,469 \text{ t}_{\text{CaCl}_2} / \text{tanda}$$



Ambos productos se encuentran en disolución.



Por relación estequiométrica con 56 g de Fe^{2+} se forman 110 g de CaCl_2 y 90 g de Fe(OH)_2 . Sabiendo que en las mismas 48 toneladas de baño agotado de HCl la concentración de Fe^{2+} es 100 g/l y que se hacen 5 tandas de reacción iguales:

$$\frac{48 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{dia}}{5 \text{ tandas/dia} \cdot 1,25 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 100 \text{ g}_{\text{Fe}^{2+}} / \text{l} \cdot \frac{110 \text{ g}_{\text{CaCl}_2}}{56 \text{ g}_{\text{Fe}^{2+}}} = 1,509 \text{ t}_{\text{CaCl}_2} / \text{tanda}$$

$$\frac{48 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{dia}}{5 \text{ tandas/dia} \cdot 1,25 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 100 \text{ g}_{\text{Fe}^{2+}} / \text{l} \cdot \frac{90 \text{ g}_{\text{Fe(OH)}_2}}{56 \text{ g}_{\text{Fe}^{2+}}} = 1,234 \text{ t}_{\text{Fe(OH)}_2} / \text{tanda}$$

En esta reacción el CaCl_2 forma parte de la disolución, igual que anteriormente, pero el hidróxido ferroso precipita, obteniendo una concentración de:

$$\frac{1,234 \text{ t}}{14,487 \text{ m}^3} = 0,085 \text{ t} / \text{m}^3 = \mathbf{85,18 \text{ g/l}}$$
 por tanda de reacción.

El volumen es la suma de:

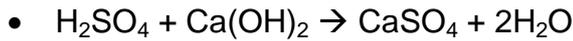
- Volumen de baño ácido: 7,680 m³.
- Volumen de lechada de cal: 6,653 m³.
- Volumen de agua formada: 0,154 m³.

Caudal de suspensión por tanda y reactor:

$$\frac{14,333 \text{ m}^3}{90 \text{ min}} = 0,159 \text{ m}^3 / \text{min} = 0,003 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Baño ácido de H_2SO_4

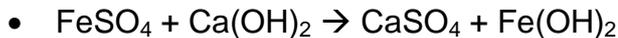
En el caso del ácido sulfúrico se hacen dos tandas iguales en las que se utiliza 7,948 toneladas. Lo que resta hasta el total del baño se neutraliza junto al baño de nítrico.



Por relación estequiométrica con 98 g de H_2SO_4 se forman 136 g de $CaSO_4$ y 36 g ($18 \cdot 2$) de H_2O . Sabiendo que en las 7,948 toneladas de baño agotado de H_2SO_4 , con una densidad de 1,20 kg/l, la concentración de H_2SO_4 es 40 g/l:

$$\frac{7,948 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{tanda}}{1,20 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 40 \text{ g}_{H_2SO_4} / \text{l} \cdot \frac{136 \text{ g}_{CaSO_4}}{98 \text{ g}_{H_2SO_4}} = 0,368 \text{ t}_{CaSO_4} / \text{tanda}$$

$$\frac{7,948 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{tanda}}{1,20 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 40 \text{ g}_{H_2SO_4} / \text{l} \cdot \frac{36 \text{ g}_{H_2O}}{98 \text{ g}_{H_2SO_4}} = 0,097 \text{ t}_{H_2O} / \text{tanda}$$



Por relación estequiométrica con 56 g de Fe^{2+} se forman 136 g de $CaSO_4$ y 90 g de $Fe(OH)_2$. Sabiendo que en las 7,948 toneladas de baño agotado de H_2SO_4 la concentración de Fe^{2+} es 100 g/l:

$$\frac{7,948 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{tanda}}{1,20 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 100 \text{ g}_{Fe^{2+}} / \text{l} \cdot \frac{136 \text{ g}_{CaSO_4}}{56 \text{ g}_{Fe^{2+}}} = 1,609 \text{ t}_{CaSO_4} / \text{tanda}$$

$$\frac{7,948 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{tanda}}{1,20 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 100 \text{ g}_{Fe^{2+}} / \text{l} \cdot \frac{90 \text{ g}_{Fe(OH)_2}}{56 \text{ g}_{Fe^{2+}}} = 1,064 \text{ t}_{Fe(OH)_2} / \text{tanda}$$

En ambas reacciones el sulfato de calcio, $CaSO_4$, precipita al igual que el $Fe(OH)_2$. Obteniendo en total 3,041 toneladas de precipitados por cada 7,948 t de baño, obteniendo una concentración por tanda de:

$$\frac{3,041 \text{ t}}{12,097 \text{ m}^3} = 0,251 \text{ t} / \text{m}^3 = \mathbf{251,39 \text{ g/l}}$$
 por tanda de reacción.

El volumen es la suma de:

- Volumen de baño ácido: 6,623 m³.
- Volumen de lechada de cal: 5,377 m³.
- Volumen de agua formada: 0,097 m³.



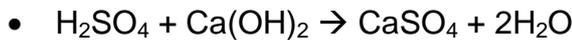
Caudal de suspensión por tanda y reactor:

$$\frac{12m^3}{90 \text{ min}} = 0,133m^3 / \text{min} = 0,002m^3 / s$$

Neutralización conjunta de H₂SO₄ y HNO₃

Baño ácido de H₂SO₄

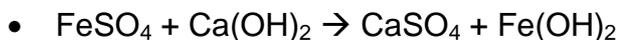
En el caso del ácido sulfúrico la parte que resta de las dos tandas anteriores es lo que se neutraliza conjuntamente. La cantidad que se utiliza para esta tanda son 4,104 toneladas.



Por relación estequiométrica con 98 g de H₂SO₄ se forman 136 g de CaSO₄ y 36 g (18*2) de H₂O. Sabiendo que en las 4,104 toneladas de baño agotado de H₂SO₄, con una densidad de 1,20 kg/l, la concentración de H₂SO₄ es 40 g/l:

$$\frac{4,104 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{tanda}}{1,20 \text{ kg}_{\text{disl}} / l} \cdot 40 \text{ g}_{H_2SO_4} / l \cdot \frac{136 \text{ g}_{CaSO_4}}{98 \text{ g}_{H_2SO_4}} = 0,190 t_{CaSO_4} / \text{tanda}$$

$$\frac{4,104 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{tanda}}{1,20 \text{ kg}_{\text{disl}} / l} \cdot 40 \text{ g}_{H_2SO_4} / l \cdot \frac{36 \text{ g}_{H_2O}}{98 \text{ g}_{H_2SO_4}} = 0,050 t_{H_2O} / \text{tanda}$$



Por relación estequiométrica con 56 g de Fe²⁺ se forman 136 g de CaSO₄ y 90 g de Fe(OH)₂. Sabiendo que en las 4,104 toneladas de baño agotado de H₂SO₄ la concentración de Fe²⁺ es 100 g/l:

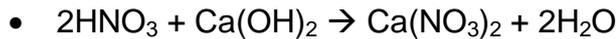
$$\frac{4,104 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{tanda}}{1,20 \text{ kg}_{\text{disl}} / l} \cdot 100 \text{ g}_{Fe^{2+}} / l \cdot \frac{136 \text{ g}_{CaSO_4}}{56 \text{ g}_{Fe^{2+}}} = 0,830 t_{CaSO_4} / \text{tanda}$$

$$\frac{4,104 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{tanda}}{1,20 \text{ kg}_{\text{disl}} / l} \cdot 100 \text{ g}_{Fe^{2+}} / l \cdot \frac{90 \text{ g}_{Fe(OH)_2}}{56 \text{ g}_{Fe^{2+}}} = 0,550 t_{Fe(OH)_2} / \text{tanda}$$



En ambas reacciones el sulfato de calcio, CaSO_4 , precipita al igual que el $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Obteniendo en total 1,570 toneladas de precipitados por cada 4,104 t de baño ácido.

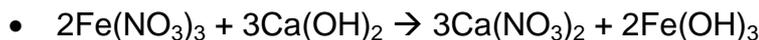
Baño ácido de HNO_3



Por relación estequiométrica con 126 g ($63 \cdot 2$) de HNO_3 se forman 164 g de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y 36 g ($18 \cdot 2$) de H_2O . Sabiendo que en las 4 toneladas de baño agotado de HNO_3 , con densidad 1,15 kg/l, la concentración de HNO_3 es 40 g/l. en este caso la cantidad de baño ácido diario que se neutraliza se hace en una única tanda.

$$\frac{4 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{dia}}{1,15 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 40 \text{ g}_{\text{HNO}_3} / \text{l} \cdot \frac{164 \text{ g}_{\text{Ca}(\text{NO}_3)_2}}{126 \text{ g}_{\text{HNO}_3}} = 0,181 \text{ t}_{\text{Ca}(\text{NO}_3)_2} / \text{dia}$$

$$\frac{4 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{dia}}{1,15 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 40 \text{ g}_{\text{HNO}_3} / \text{l} \cdot \frac{36 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}}{126 \text{ g}_{\text{HNO}_3}} = 0,040 \text{ t}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{dia}$$



Por relación estequiométrica con 112 g ($56 \cdot 2$) de Fe^{2+} se forman 492 g ($164 \cdot 3$) de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y 214 g ($107 \cdot 2$) de $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Sabiendo que en las mismas 4 toneladas de baño agotado de HNO_3 la concentración de Fe^{2+} es 100 g/l:

$$\frac{4 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{dia}}{1,15 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 100 \text{ g}_{\text{Fe}^{2+}} / \text{l} \cdot \frac{492 \text{ g}_{\text{Ca}(\text{NO}_3)_2}}{112 \text{ g}_{\text{Fe}^{2+}}} = 1,528 \text{ t}_{\text{Ca}(\text{NO}_3)_2} / \text{dia}$$

$$\frac{4 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{dia}}{1,15 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 100 \text{ g}_{\text{Fe}^{2+}} / \text{l} \cdot \frac{214 \text{ g}_{\text{Fe}(\text{OH})_3}}{112 \text{ g}_{\text{Fe}^{2+}}} = 0,665 \text{ t}_{\text{Fe}(\text{OH})_3} / \text{dia}$$



En esta reacción el único producto se precipita es el $\text{Fe}(\text{OH})_3$, manteniéndose el nitrato cálcico en disolución. Por lo tanto por cada 4 t de baño neutralizado se obtienen 0,665 toneladas de precipitados.

Por lo tanto la cantidad total de precipitados en la neutralización conjunta es de 2,235 toneladas por tanda, siendo la concentración:

$$\frac{2,235t}{13,620m^3} = 0,164t / m^3 = \mathbf{164,10 \frac{g}{l}}$$
 por tanda de reacción.

El volumen es la suma de:

- Volumen de baño ácido de H_2SO_4 : 3,420 m^3 .
- Volumen de lechada de cal: 2,776 m^3 .
- Volumen de baño ácido de HNO_3 : 3,478 m^3 .
- Volumen de lechada de cal: 3,856 m^3 .
- Volumen de agua formada total: 0,090 m^3 .

Caudal de suspensión por tanda y reactor:

$$\frac{13,530m^3}{90 \text{ min}} = 0,150m^3 / \text{min} = 0,003m^3 / s$$

Características del filtro

Como se puede observar los precipitados obtenidos son en gran parte productos férricos y, además, se obtienen grandes cantidades de ellos.

Estas características tan propicias para el filtrado hacen que el filtrado completo pueda realizarse en un tiempo menor de 60 minutos. Si se tiene en cuenta que se poseen 85 minutos entre etapas de reacción, habrá tiempo suficiente para efectuar el filtrado entre etapa y etapa, consiguiendo así realizar la neutralización y la filtración al mismo tiempo y en un turno de 8 horas.



Con las características de filtrado antes mencionadas, se ha decidido instalar 4 filtros prensa, 2 iguales para cada reactor que trabaja con el baño agotado de HCl, debido a que filtrar ambas tandas en un mismo filtro no es posible ya que el proceso de llenado del filtro no se haría correctamente debido a que el flujo procede de dos reactores distintos, otro filtro únicamente para las dos tandas que se hacen de H_2SO_4 y otro para el baño conjunto de H_2SO_4 y HNO_3 . Estos dos últimos filtros tampoco podrían quedarse en uno debido a que la concentración de sólidos es distinta y por lo tanto las características del filtro también.

Los 4 filtros están diseñados para unas dimensiones de las placas de 1,35 x 1,35, de ancho y largo, y con un espesor para las tortas de 40mm, además de establecer una humedad de la torta del 20%. Las propiedades de los filtros para cada baño han sido proporcionadas por la empresa a la que se le solicitan los filtros prensa.

Filtro para el baño neutralizado de HCl

Filtro	Nº de tortas	Superficie filtrante (m ²)	Sólidos torta (g/l)	Volumen torta (l)	Sólidos torta (kg)	Duración del ciclo (min)	Producción de materia seca (kg/h)
APN 16 Q	4	14,6	1201	292	350	18	1167



Filtro para el baño neutralizado de H₂SO₄

Filtro	Nº de tortas	Superficie filtrante (m ²)	Sólidos torta (g/l)	Volumen torta (l)	Sólidos torta (kg)	Duración del ciclo (min)	Producción de materia seca (kg/h)
APN 16 M10	10	36,5	1161	729	847	18	2822

Filtro para el baño neutralizado de H₂SO₄ + HNO₃

Filtro	Nº de tortas	Superficie filtrante (m ²)	Sólidos torta (g/l)	Volumen torta (l)	Sólidos torta (kg)	Duración del ciclo (min)	Producción de materia seca (kg/h)
APN 16 M12	12	43,7	1147	875	1003	29,7	2027

Como se observa la producción por ciclo es menor que la necesaria ya que en estos filtro a menor tiempo de ciclo de filtrado mayor producción. Por lo tanto solo habrá que terminar el ciclo cuando la concentración de sólidos en la torta sea la apropiada.

Un equipo fundamental dentro del sistema de filtración instalado es la bomba de lodos, necesaria para un llenado correcto de las cámaras sin producir presiones diferenciales entre las cámaras, y para extraer todo el filtrado y obtener una torta lo más seca posible.

En los cuatro filtros que se instalan la bomba elegida es el modelo APN SIX-6CS, ofreciendo en cada caso:



	Presión nominal (m ³ /h)	Tiempo de llenado (s)	Tiempo de bombeo de filtrado (min)
Baño HCl	20	52	12,2
Baño H ₂ SO ₄	20	131	10
Baño H ₂ SO ₄ + HNO ₃	20	157	18,2

Cuando este proceso de filtración termine, las tortas de todas las filtraciones se almacenan para la recogida por parte de la industria cementera que las requiera.

El filtrado de los baños de H₂SO₄ y el baño de H₂SO₄ + HNO₃ será evacuado como aguas residuales de la planta, mientras que el filtrado del baño de HCl se llevará a un depósito pulmón en el cual permanecerá hasta el día siguiente para pasar al proceso de evaporación.

PROCESO DE CONCENTRACIÓN

En el proceso de neutralización del baño de ácido clorhídrico se han obtenido precipitados de hidróxidos de hierro y un filtrado que es una disolución acuosa de cloruro cálcico, como se ha visto en el proceso de filtración anterior.

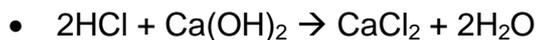
Esta disolución acuosa de cloruro de calcio va a pasar a un proceso de evaporación en el cual se consigue aumentar su concentración a un nivel suficiente para poder proceder a su venta.



Depósito Pulmón

Todo el proceso hasta este momento ha sido discontinuo, por lo que el filtrado logrado se va obteniendo en tandas, por lo tanto para facilitar el proceso de evaporación y poder realizar este de forma continua se instala un depósito pulmón en el que se almacena el filtrado hasta que se complete la fase de filtración. Este depósito permite que el filtrado obtenido de las 5 etapas de reacción de neutralización, pase al completo al evaporador.

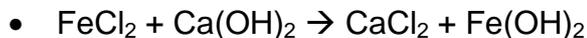
Se procede a calcular los productos obtenidos en la neutralización del baño agotado de HCl para conocer el volumen de filtrado.



Por relación estequiométrica con 73 g ($36 \cdot 2$) de HCl se forman 110 g de CaCl_2 y 36 g ($18 \cdot 2$) de H_2O . Sabiendo que en las 48 toneladas de baño agotado de HCl, con densidad 1,25 kg/l, la concentración de HCl es 40 g/l:

$$\frac{48 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{dia}}{1,25 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 40 \text{ g}_{\text{HCl}} / \text{l} \cdot \frac{110 \text{ g}_{\text{CaCl}_2}}{73 \text{ g}_{\text{HCl}}} = 2,347 \text{ t}_{\text{CaCl}_2} / \text{dia}$$

$$\frac{48 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{dia}}{1,25 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 40 \text{ g}_{\text{HCl}} / \text{l} \cdot \frac{36 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}}{73 \text{ g}_{\text{HCl}}} = 0,768 \text{ t}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{dia}$$



Por relación estequiométrica con 56 g de Fe^{2+} se forman 110 g de CaCl_2 y 90 g de $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Sabiendo que en las mismas 48 toneladas de baño agotado de HCl la concentración de Fe^{2+} es 100 g/l:

$$\frac{48 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{dia}}{1,25 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 100 \text{ g}_{\text{Fe}^{2+}} / \text{l} \cdot \frac{110 \text{ g}_{\text{CaCl}_2}}{56 \text{ g}_{\text{Fe}^{2+}}} = 7,543 \text{ t}_{\text{CaCl}_2} / \text{dia}$$



$$\frac{48 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{dia}}{1,25 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} \cdot 100 \text{ g}_{\text{Fe}^{2+}} / \text{l} \cdot \frac{90 \text{ g}_{\text{Fe(OH)}_2}}{56 \text{ g}_{\text{Fe}^{2+}}} = 6,17 \text{ t}_{\text{Fe(OH)}_2} / \text{dia}$$

En total se tiene en disolución:

9,890 (2,347 + 7,543) toneladas de CaCl_2 más 0,768 t de agua.

Volumen total:

- Volumen de baño agotado: $\frac{48 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{dia}}{1,25 \text{ kg}_{\text{disl}} / \text{l}} = 38400 \text{ l} / \text{dia}$
- Volumen de lechada utilizada: $\frac{6,653 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{Ca(OH)}_2}}{200 \text{ kg}_{\text{Ca(OH)}_2} / \text{m}^3} = 33,26 \text{ m}^3 = 33265 \text{ l}$
- Volumen de agua formada: 0,768 t = 768 l

Volumen Total = 72432,76 litros

$$\text{Concentración de } \text{CaCl}_2 = \frac{9,890 \cdot 10^3 \text{ kg}_{\text{CaCl}_2}}{72432,76 \text{ l}} = 0,092 \text{ kg} / \text{l} = 0,092 \text{ g} / \text{ml} \cdot 100 = 9,2\%$$

El volumen total a almacenar es 72433 litros al día, teniendo en cuenta el factor de seguridad (75330 litros) y para obtener una relación altura-diámetro del tanque no muy lejana a 1, se instala un depósito de 4,5 metros de diámetro y 4,7 metros de altura, obteniendo un tanque de 75,5 m³ de capacidad.

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \rightarrow h = \frac{V}{\pi \cdot r^2} = \frac{75,5 \text{ m}^3}{\pi \cdot 2,25^2} = 4,7 \text{ m}$$

La relación altura/diámetro es de 1,05 por lo que si fuese necesario poner un agitador en algún momento sería una relación muy buena para ello.



El filtrado permanecerá en el depósito pulmón hasta el día siguiente que ya será procesado, por lo que estará cerrado en la parte superior por la cual llegará la tubería de alimentación alimentada por una bomba de $12,3 \text{ m}^3/\text{h}$, ya que en cada tanda de reacción es necesario bombear $14,333 \text{ m}^3$ de filtrado en un tiempo estipulado en 70 minutos. Existirán dos bombas con estas características, una por cada filtro.

$$\frac{14,333\text{m}^3}{70 \text{ min}} = 0,2047\text{m}^3 / \text{min} = 12,28\text{m}^3 / \text{h}$$

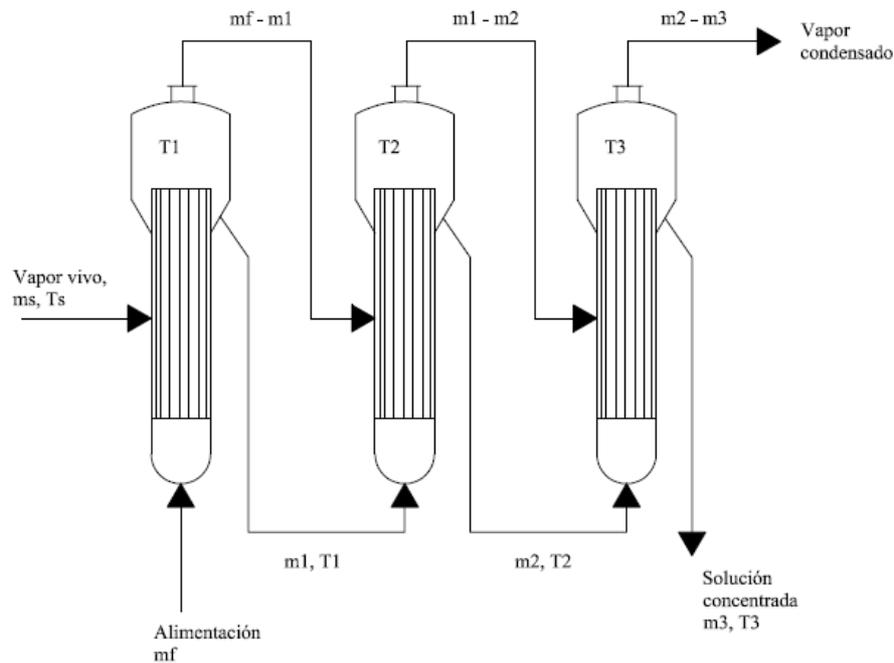
El tanque debe estar cerrado ya que, como se ha explicado es un producto higroscópico, por lo que absorbe agua con facilidad.

Evaporador

Como la solución de cloruro de calcio que se obtiene de los filtrados tiene una concentración de un 9,2% y la concentración mínima para su venta debe ser de un 35%, se procede a una etapa de evaporación en la cual se consigue esta concentración deseada.

Diseño del evaporador

Para el caso de este proyecto se va instalar un evaporador de paso múltiple con 3 efectos de tubos verticales en el cual se introducen 24000 kg/h de disolución que contiene el 9,2 % de sólidos a una temperatura ambiente de $21 \text{ }^\circ\text{C}$, el flujo de entrada son 24000 kg/h debido a que si el evaporador trabaja 3 horas se obtienen 72000 kg que es aproximadamente la cantidad de filtrado que se obtiene.



Así mismo se debe retirar la disolución cuando la concentración de sólidos llegue al 35% en el tercer efecto, en el cual se establece que se encontrará a un presión de 0,13 bar.

Para el proceso se dispone de vapor de agua saturado a la presión absoluta de 2 bar. El calor específico de la disolución para todas las concentraciones se considera igual al agua, 1 kcal/kg °C.

Como se instalan evaporadores de tubos verticales con circulación natural y como en el primer efecto se necesita más transferencia de calor que en el segundo y este mayor que en el tercero, se estipulan unos coeficientes globales de transmisión de calor de 2900, 2000 y 1100 kcal/m²·h·°C para el primer efecto, segundo y tercero, respectivamente.

Datos:



El vapor de agua saturado que se introduce está a una presión de 2 bar, por lo tanto la temperatura de ebullición es de 120,2°C y el calor latente es de 525,9 kcal/kg.

Como el tercer efecto está a una presión de 0,13 bar la temperatura de ebullición es de 51°C y el calor latente es de 568,44 kcal/kg.

El valor del calor específico será el mismo para todas las disoluciones.

Balance de materia al soluto:

$$\dot{m}_f \cdot x_f = \dot{m}_3 \cdot x_3 \rightarrow 24000 \text{ kg / h} \cdot 0,092 = \dot{m}_3 \cdot 0,35 \rightarrow \dot{m}_3 = 6308,6 \text{ kg / h}$$

DATOS DEL PROCESO	
X_f	0,092
X_3	0,35
m_f (kg/h)	24000
λ_s (kcal/kg)	525,9
λ_3 (kcal/kg)	568,44
T_s	120,2
T_f (°C)	21
T_3 (°C)	51
C_p (kcal/kg·°C)	1
U_1 (kcal/m ² ·h·°C)	2900
U_2 (kcal/m ² ·h·°C)	2000
U_3 (kcal/m ² ·h·°C)	1100



Para obtener 3 efectos con el mismo área de calefacción se procede a estipular distintos valores de diferencias de temperatura entre estos, y así calcular el área, sino no estuviesen las tres áreas calculadas cercanas al valor medio, se varían los valores ΔT de para cada efecto y se vuelve a recalcular.

1ª iteración

Se sabe que el primer efecto debe tener la mayor caída de temperatura debido a que su coeficiente es menor. Por otra parte, puesto que el primer efecto tiene que realizar un trabajo adicional de calentamiento, su caída de temperatura tiene que ser mayor que la del segundo. Teniendo en cuenta estas características básicas se toman los valores:

$$\Delta T_1 = 23^\circ\text{C} ; \Delta T_2 = 18^\circ\text{C}$$

Para estos valores de diferencia de temperatura se obtienen los siguientes resultados de temperaturas y calores latentes en cada efecto.

$$\Delta T_1 = T_s - T_1 \rightarrow T_1 = T_s - \Delta T_1 = 120,2 - 23 = 97^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_1 - T_2 \rightarrow T_2 = T_1 - \Delta T_2 = 97 - 18 = 79^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_3 = T_2 - T_3 = 79 - 51 = 28^\circ\text{C}$$

Temperatura	Calor latente
$T_s = 120,2^\circ\text{C}$	$\lambda_s = 525,9 \text{ kcal/kg}$
$T_1 = 97^\circ\text{C}$	$\lambda_1 = 541 \text{ kcal/kg}$
$T_2 = 79^\circ\text{C}$	$\lambda_2 = 552 \text{ kcal/kg}$
$T_3 = 51^\circ\text{C}$	$\lambda_3 = 568,4 \text{ kcal/kg}$

Despejando de las ecuaciones del balance de calor:



$$Q_1 = \lambda_s \dot{m}_s = \lambda_1 (\dot{m}_f - \dot{m}_1) + \dot{m}_f \cdot C_{pf} (T_1 - T_f)$$

$$Q_2 = \lambda_1 (\dot{m}_f - \dot{m}_1) = \lambda_2 (\dot{m}_1 - \dot{m}_2) + \dot{m}_1 \cdot C_{p1} (T_2 - T_1)$$

$$Q_3 = \lambda_2 (\dot{m}_1 - \dot{m}_2) = \lambda_3 (\dot{m}_2 - \dot{m}_3) + \dot{m}_2 \cdot C_{p2} (T_3 - T_2)$$

Por iteración entre las dos últimas ecuaciones se obtienen los valores de velocidad de flujo de las soluciones que salen de los efectos 1 y 2:

$$\dot{m}_1 = 18587,7 \text{ kg/h} \quad \dot{m}_2 = 12677,1 \text{ kg/h}$$

Y sustituyendo el valor de \dot{m}_1 en la primera ecuación se obtiene la velocidad de flujo de vapor vivo: $\dot{m}_s = 9045,2 \text{ kg/h}$

Y con estos tres valores de flujo ya se pueden calcular las velocidades de transmisión de calor en los tres efectos:

$$Q_1 = 4.756.860 \text{ kcal/h} \quad Q_2 = 2.928.060 \text{ kcal/h} \quad Q_3 = 3.262.639 \text{ kcal/h}$$

Con los valores de velocidad de transmisión de calor, se obtienen las áreas de cada efecto, a partir de la ecuación de velocidad de transmisión de calor:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \rightarrow A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T}$$

Áreas	
A ₁	71,3 m ²
A ₂	81,3 m ²
A ₃	105,2 m ²



suma	257,8 m ²
valor medio	85,9 m ²

Como se puede observar el valor medio difiere bastante de los tres efectos, lo cual hace preciso ajustar las caídas de temperatura.

Se puede admitir que las áreas calculadas variarán inversamente a las caídas de temperatura, por lo que al ser el tercer efecto demasiado grande, este deberá tener una mayor caída de presión, al contrario que los otros dos.

2ª iteración:

Por lo que se establecen ahora unas caídas de temperatura de:

$$\Delta T_1 = 19^\circ\text{C} ; \Delta T_2 = 16,7^\circ\text{C}$$

Para estos valores de diferencia de temperatura se obtienen los siguientes resultados de temperaturas y calores latentes en cada efecto.

$$\Delta T_1 = T_s - T_1 \rightarrow T_1 = T_s - \Delta T_1 = 120,2 - 19 = 101^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_1 - T_2 \rightarrow T_2 = T_1 - \Delta T_2 = 101 - 16,7 = 85^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_3 = T_2 - T_3 = 85 - 51 = 33,5^\circ\text{C}$$

Temperatura	Calor latente
$T_s = 120,2^\circ\text{C}$	$\lambda_s = 525,9 \text{ kcal/kg}$
$T_1 = 97^\circ\text{C}$	$\lambda_1 = 538,4 \text{ kcal/kg}$
$T_2 = 79^\circ\text{C}$	$\lambda_2 = 548,4 \text{ kcal/kg}$
$T_3 = 51^\circ\text{C}$	$\lambda_3 = 568,4 \text{ kcal/kg}$



Despejando de las ecuaciones del balance de calor:

$$Q_1 = \lambda_s \dot{m}_s = \lambda_1 (\dot{m}_f - \dot{m}_1) + \dot{m}_f \cdot C_{pf} (T_1 - T_f)$$

$$Q_2 = \lambda_1 (\dot{m}_f - \dot{m}_1) = \lambda_2 (\dot{m}_1 - \dot{m}_2) + \dot{m}_1 \cdot C_{p1} (T_2 - T_1)$$

$$Q_3 = \lambda_2 (\dot{m}_1 - \dot{m}_2) = \lambda_3 (\dot{m}_2 - \dot{m}_3) + \dot{m}_2 \cdot C_{p2} (T_3 - T_2)$$

Por iteración entre las dos últimas ecuaciones se obtienen los valores de velocidad de flujo de las soluciones que salen de los efectos 1 y 2:

$$\dot{m}_1 = 18595,6 \text{ kg/h} \quad \dot{m}_2 = 12723,5 \text{ kg/h}$$

Y sustituyendo el valor de \dot{m}_1 en la primera ecuación se obtiene la velocidad de flujo de vapor vivo: $\dot{m}_s = 9192,9 \text{ kg/h}$

Y con estos tres valores de flujo ya se pueden calcular las velocidades de transmisión de calor en los tres efectos:

$$Q_1 = 4.834.520 \text{ kcal/h} \quad Q_2 = 2.909.720 \text{ kcal/h} \quad Q_3 = 3.220.267 \text{ kcal/h}$$

Con los valores de velocidad de transmisión de calor, se obtienen las áreas de cada efecto, a partir de la ecuación de velocidad de transmisión de calor:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \rightarrow A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T}$$

Áreas	
A ₁	87,7 m ²
A ₂	87,1 m ²



A ₃	87,4 m ²
suma	262,2 m ²
valor medio	87,4 m ²

Ahora el valor medio se acerca mucho al valor de todos los efectos, por lo que esta iteración se aceptará como buena para el diseño del evaporador.

Teniendo en cuenta los valores de flujo obtenidos se calcula la economía del evaporador que viene dada como $\frac{\text{kg evaporados}}{\text{kg de vapor vivo}}$

$$\text{Economía del primer efecto} = \frac{24000 - 18595,6}{9192,9} = 0,588$$

$$\text{Economía del segundo efecto} = \frac{18595,6 - 12723,5}{24000 - 18595,6} = 1,087$$

$$\text{Economía del tercer efecto} = \frac{12723,5 - 6308,6}{18595,6 - 12723,5} = 1,092$$

$$\text{Economía Global} = \frac{24000 - 6308,6}{9192,9} = 1,924$$



Tratamiento y Gestión de baños ácidos de Decapado

Cálculos realizados por la Ingeniera Técnica Industrial

Elena Domínguez Hernández

Valladolid, Septiembre de 2012



PRESUPUESTO

EVALUACIÓN ECONÓMICA

El capital total requerido para realizar y poner en funcionamiento un proyecto se compone de 2 partes:

- Costes fijos de capital o de inmovilizado
- Costes de operación

Por otra parte se debe tener en cuenta que en la etapa inicial de un proyecto, la exactitud de los cálculos económicos estimados varía en un $\pm 30\%$, mientras que en la etapa final del proyecto se obtienen estimaciones mucho más precisas, en torno a un $\pm 5-10\%$.

Costes fijos de capital o de inmovilizado

Es la cantidad de dinero necesaria para construir una planta de proceso con servicios auxiliares, y dejarla preparada para poder comenzar a producir. Es básicamente la suma del valor de todos los activos de la planta.

Los activos fijos pueden ser tangibles. Los primeros comprenden la maquinaria (incluyendo el costo de su montaje), edificios, instalaciones auxiliares... y los segundos, las patentes, conocimientos técnicos, gastos de organización, puesta en marcha...

Estimación del inmovilizado

Para estimar el precio de las partidas “Válvulas y accesorios”, “Instrumentación y control”, “Instalación eléctrica”, “Parcela”, “Honorarios y dirección de obra” y “Contratista”, que también componen el capital inmovilizado, se va a emplear el denominado “método de los porcentajes”. Este método permite calcular cada



una de estas partidas integrantes del capital inmovilizado como un porcentaje del valor de la partida de "Equipo", X. De esta forma, el capital inmovilizado, I, será la suma de las partidas detalladas en el presupuesto, más la partida de Equipo, más el resto de las partidas calculadas por porcentajes.

Partida de Presupuesto

PRESUPUESTO DE PLANTA

<i>Resumen</i>	<i>Precio</i>	<i>Importe</i>
Edificación y Rehabilitación	712.413,06 €	712.413,06 €
Urbanización	28.837,12 €	28.837,12 €
Seguridad y Salud	13.399,84 €	13.399,84 €
Gestión de Residuos	55,62 €	55,62 €
Equipos	1.195.439,30 €	1.195.439,30 €
TOTAL		1.950.144,94 €

Partida de Equipo

Los precios de los equipos son calculados a partir de sus características básicas en la página web www.matche.com en la cual se ofrecen los importes de equipos de una forma estandarizada y sencilla:

PRESUPUESTO DE EQUIPOS

<i>Resumen</i>	<i>Precio</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Importe</i>
----------------	---------------	-----------------	----------------



Tratamiento y Gestión de baños ácidos de Decapado

Apagador de cal	54.100,35	1,00	54.100,35
Tornillo Sin fin	3.250,05	1,00	3.250,05
Silo cal de cal viva	16.700,15	1,00	16.700,15
Tanque de almacenamiento de 40 m ³	39.200,25	3,00	117.600,75
Tanque de almacenamiento de 7,5 m ³	10.817,25	1,00	10.817,25
Tanque de almacenamiento de 21 m ³	19.200,67	2,00	38.401,34
Tanque de almacenamiento de 14 m ³	14.400,14	1,00	14.400,14
Reactor de 15 m ³	56.863,21	4,00	227.452,84
Filtro prensa de 4 placas	82.712,81	2,00	165.425,62
Filtro prensa de 10 placas	123.512,02	1,00	123.512,02
Filtro prensa de 12 placas	131.112,92	1,00	131.112,92
Depósito Pulmón de 75 m ³	17.521,46	1,00	17.521,46
Evaporador	215.935,77	1,00	215.935,77
Bombas centrífugas	3.700,54	16,00	59.208,64
TOTAL			1.195.439,30 €

Válvulas y Accesorios

Se estima un 10% de la partida "Equipo", debido a que la mayoría de las válvulas ya se encuentran contabilizadas en el precio de cada equipo:

$$\text{Válvulas y Accesorios: } 0,10 \cdot X = 119.543,93 \text{€}$$

Instrumentación y Control



El precio de la instrumentación y control se estima un 10% de la partida “Equipo”:

$$\text{Instrumentación y Control} : 0,10 \cdot X = 119.543,93\text{€}$$

Instalación Eléctrica

La instalación eléctrica se estima un 10% de la partida “Equipo”:

$$\text{Instalación eléctrica} : 0,10 \cdot X = 119.543,93\text{€}$$

Parcela

La parcela tendrá una superficie de 10000 m², el precio del metro cuadrado está a 6€/m²:

$$\text{Parcela} : 6\text{€/m}^2 \cdot 10.000\text{m}^2 = 60.000\text{€}$$

Honorarios del proyecto y Dirección de obra

El valor de esta partida, se estima en un 10% del Capital Físico, el cual, es la suma de todas las partidas:

$$\text{Capital Físico} = 1.950.089,32\text{€}$$

$$\text{Honorarios y dirección de obra} : 0,10 \cdot 1.950.089,32 = 195.008,93\text{€}$$

Contratista

El valor de esta partida se estima en un 5% del Capital Directo, el cual es la suma del Capital físico más la partida de “Honorarios del proyecto y dirección de obra”:



Capital Directo = 2.145.098,25€

Contratista : $0,05 \cdot 2.145.098,25 = 107.254,91€$

TOTAL INMOVILIZADO

Como se ha explicado el total del Inmovilizado es la suma de todas las partidas:

Inmovilizado, I = $1.950.144,94 + 119.543,93 + 119.543,93 + 119.543,93$
 $+ 60.000 + 195.008,93 + 107.254,91 = \mathbf{2.671.040,57€}$

Costes de operación

Comprenden las disponibilidades del capital necesario para que una vez que la planta se encuentre instalada y puesta en marcha, pueda operar a los niveles previstos en los estudios técnicos-económicos.

Estimación del capital circulante

El capital circulante o costes de operación puede estimarse sumando:

- Costes de materias primas y servicios
- Costes de mantenimiento
- Costes de personal

Costes de materias primas y servicios				
	€/kg	kg/día	Días/año	€/año
Cal viva	8,50	6.128,00	240	12.501.120 €



Potencia	€/kWh	kWh/día	Días/año	€/año
	0,15	17.181,63	240	618.538,80 €
Agua	€/m ³	m ³ /día	Días/año	€/año
	2	49,65	240	23.832,00€
Combustible	€/l	l/día	Días/año	€/año
	1	474,35	240	113.844,72 €
Costes del personal				
Ingenieros	Ingenieros	€/mes	14 pagas al año	€/año
	4	4000€		224.000,00 €
Operarios	Operarios	€/mes	14 pagas al año	€/año
	16	2500€		560.000,00 €
Costes de mantenimiento				
	€/día	Días/año	€/año	
	15	240	3600,00 €	



TOTAL	14.044.935,52€
--------------	-----------------------

Capital Total

El capital total es la suma del inmovilizado más el capital circulante:

$$\text{Capital Total} = 2.671.040,57\text{€} + 14.044.935,52\text{€} = \mathbf{16.715.976,09\text{€}}$$

INGRESOS

En el caso de esta planta se obtienen dos fuentes de ingresos, una por la gestión de los baños agotados de decapado y, otra, por la venta de solución de cloruro de calcio.

Estimación de ingresos anuales					
	€/t	t/día	€/día	días/año	€/año
Gestión de Baños ácidos	120,00	72,00	8.640,00	240	2.073.600,00€
Producción de Cloruro Cálcico	€/l	l/día	€/día	días/año	€/año
	3,25	17.500,00	5.875,00	240	13.650.000,00€
TOTAL					15.723.600,00 €



CÁLCULO DE LA RENTABILIDAD

La rentabilidad se calcula a través del método del VAN (Valor Actualizado Neto), con el cual se pretende saber el valor total real de los flujos de caja anuales que genera la inversión realizada para determinar la viabilidad de la misma (siempre que el resultado sea positivo). En este caso se va a estudiar el retorno económico para un horizonte temporal de 20 años. Además se ha tenido en cuenta que la inversión inicial (desembolso del capital inmovilizado) se lleva a cabo gracias a un préstamo solicitado por el total del importe, considerando un tipo interés del 7% anual (tasa actual de mercado), a devolver de forma lineal durante toda la vida presupuestada de la inversión (20 años).

Condiciones del préstamo

Se considera que cada año se devuelve un 5% del Capital Prestado solicitado, de forma que al final de los 20 años de la inversión se ha amortizado por completo el préstamo recibido.

Préstamo pendiente: es la cantidad pendiente de devolver al inicio de cada ejercicio sobre el préstamo solicitado, una vez restadas las devoluciones de los ejercicios anteriores.

Intereses: se calcula aplicando el 7% de tasa de interés sobre el Préstamo Pendiente en cada ejercicio.

Cálculo del VAN (VALOR ACTUALIZADO NETO)

Para el cálculo del VAN se agregan distintos resultados que se explican a continuación:

EBITDA: *Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation, and Amortization* (beneficio antes de pagar impuestos e intereses y de aplicar la amortización).

Es la diferencia entre los ingresos y los costes de operación anuales.



Amortización: es la estimación de la depreciación de la planta y los equipos (Capital Inmovilizado) que anualmente se produce por el desgaste provocado por su uso diario.

En este caso se considera que el desgaste es de un 10% anual sobre el valor inicial de la inversión, y por lo tanto, contablemente la depreciación se produce en un total de 10 años.

EBIT: *Earnings Before Interest, Taxes* (beneficio descontando la amortización pero antes del pago de intereses e impuestos)

Resulta de restar la amortización anual al EBITDA

Beneficio Bruto: se calcula restando los intereses al EBIT

Taxes (Impuestos): son el resultado de pagar, de acuerdo al Impuesto de Sociedades, un 30% del Beneficio Bruto anual obtenido.

Beneficio Neto: es el resultado de restar al beneficio bruto el pago de impuestos. Es un beneficio contable, pero no un beneficio real, puesto que en él se tiene en cuenta la Amortización (concepto contable pero que no genera ningún flujo de tesorería), mientras que no se tiene en cuenta la salida de tesorería que implica la devolución anual del préstamo.

Cash Flow (Flujo de Caja): es la diferencia entre todas las entradas y salidas reales de la tesorería de la empresa (ingresos menos pagos).

Se calcula sumando la amortización al Beneficio Neto contable y restando el pago de la devolución del préstamo.

Flujo de Caja Actualizado: es el flujo de caja anual valorado a día de hoy, al comienzo de la inversión, es decir, en el momento cero.

Se fundamenta en la pérdida de valor real del dinero por el efecto de la inflación, es decir, en la teoría de que un euro de cualquier momento futuro vale menos que un euro del momento presente por la pérdida de valor adquisitivo que supone el encarecimiento general de los precios.



Para su cálculo se “descuenta” el resultado de caja total de cada ejercicio utilizando como tasa la inflación, estimada en un 3%, de acuerdo a la media de los últimos 20 años en la Unión Europea.

Con ello se obtiene el valor actual de cada beneficio anual, para poder agregarlo y compararlo con la inversión inicial realizada en un mismo momento temporal.

VAN (Valor Actual Neto): es el sumatorio de los Flujos de Caja Actualizados de cada año, de manera que equivale al total de beneficio real obtenido durante los 20 años de la inversión. Un proyecto es rentable siempre que este resultado sea positivo, es decir, los ingresos generados cada año de manera acumulada permitan compensar la inversión inicial realizada (Capital Inmovilizado) y los gastos recurrentes generados cada año (Capital Circulante) para la posible obtención de los ingresos.

TIR (Tasa Interna de Rentabilidad): es una medida de la rentabilidad neta anualizada del proyecto.



Tratamiento y Gestión de baños ácidos de Decapado



Año	Inversión Inicial	Costes	Ingresos	EBITDA	Amortización	EBIT	Intereses	BºBruto	TAX	BºNeto	Devolución Préstamo	Préstamo Pendiente	Cash Flow	FCA	
0	- 2.671.040,6 €											2.671.040,57 €	-2.671.040,57 €	- 2.671.040,57 €	
1		14.044.936 €	15.723.600 €	1.678.664 €	267.104 €	1.411.560 €	186.973 €	1.224.588 €	367.376 €	857.211 €	-133.552 €	2.537.489 €	990.763 €	961.906,15 €	
2		14.044.936 €	15.723.600 €	1.678.664 €	267.104 €	1.411.560 €	177.624 €	1.233.936 €	370.181 €	863.755 €	-133.552 €	2.403.937 €	997.307 €	940.057,86 €	
3		14.044.936 €	15.723.600 €	1.678.664 €	267.104 €	1.411.560 €	168.276 €	1.243.285 €	372.985 €	870.299 €	-133.552 €	2.270.384 €	1.003.851 €	918.666,27 €	
4		14.044.936 €	15.723.600 €	1.678.664 €	267.104 €	1.411.560 €	158.927 €	1.252.634 €	375.790 €	876.843 €	-133.552 €	2.136.832 €	1.010.395 €	897.723,30 €	
5		14.044.936 €	15.723.600 €	1.678.664 €	267.104 €	1.411.560 €	149.578 €	1.261.982 €	378.595 €	883.388 €	-133.552 €	2.003.280 €	1.016.940 €	877.220,98 €	
6		14.044.936 €	15.723.600 €	1.678.664 €	267.104 €	1.411.560 €	140.230 €	1.271.331 €	381.399 €	889.932 €	-133.552 €	1.869.728 €	1.023.484 €	857.151,39 €	
7		14.044.936 €	15.723.600 €	1.678.664 €	267.104 €	1.411.560 €	130.881 €	1.280.679 €	384.204 €	896.476 €	-133.552 €	1.736.176 €	1.030.028 €	837.506,72 €	
8		14.044.936 €	15.723.600 €	1.678.664 €	267.104 €	1.411.560 €	121.532 €	1.290.028 €	387.008 €	903.020 €	-133.552 €	1.602.624 €	1.036.572 €	818.279,26 €	
9		14.044.936 €	15.723.600 €	1.678.664 €	267.104 €	1.411.560 €	112.184 €	1.299.377 €	389.813 €	909.564 €	-133.552 €	1.469.072 €	1.043.116 €	799.461,35 €	
10		14.044.936 €	15.723.600 €	1.678.664 €	267.104 €	1.411.560 €	102.835 €	1.308.725 €	392.618 €	916.108 €	-133.552 €	1.335.520 €	1.049.660 €	781.045,46 €	
11		14.044.936 €	15.723.600 €	1.678.664 €		1.678.664 €	93.486 €	1.585.178 €	475.553 €	1.109.625 €	-133.552 €	1.201.968 €	976.073 €	705.135,62 €	
12		14.044.936 €	15.723.600 €	1.678.664 €		1.678.664 €	84.138 €	1.594.527 €	478.358 €	1.116.169 €	-133.552 €	1.068.416 €	982.617 €	689.187,56 €	
13		14.044.936 €	15.723.600 €	1.678.664 €		1.678.664 €	74.789 €	1.603.875 €	481.163 €	1.122.713 €	-133.552 €	934.864 €	989.161 €	673.570,31 €	
14		14.044.936 €	15.723.600 €	1.678.664 €		1.678.664 €	65.440 €	1.613.224 €	483.967 €	1.129.257 €	-133.552 €	801.312 €	995.705 €	658.278,15 €	
15		14.044.936 €	15.723.600 €	1.678.664 €		1.678.664 €	56.092 €	1.622.573 €	486.772 €	1.135.801 €	-133.552 €	667.760 €	1.002.249 €	643.305,37 €	
16		14.044.936 €	15.723.600 €	1.678.664 €		1.678.664 €	46.743 €	1.631.921 €	489.576 €	1.142.345 €	-133.552 €	534.208 €	1.008.793 €	628.646,36 €	
17		14.044.936 €	15.723.600 €	1.678.664 €		1.678.664 €	37.395 €	1.641.270 €	492.381 €	1.148.889 €	-133.552 €	400.656 €	1.015.337 €	614.295,53 €	
18		14.044.936 €	15.723.600 €	1.678.664 €		1.678.664 €	28.046 €	1.650.619 €	495.186 €	1.155.433 €	-133.552 €	267.104 €	1.021.881 €	600.247,36 €	
19		14.044.936 €	15.723.600 €	1.678.664 €		1.678.664 €	18.697 €	1.659.967 €	497.990 €	1.161.977 €	-133.552 €	133.552 €	1.028.425 €	586.496,41 €	
20		14.044.936 €	15.723.600 €	1.678.664 €		1.678.664 €	9.349 €	1.669.316 €	500.795 €	1.168.521 €	-133.552 €	0 €	1.034.969 €	573.037,27 €	
													17.586.283 €	12.390.178,11 €	34%
														VAN	TIR



Como se puede observar el VAN obtenido para este proyecto es mayor de cero, lo cual indica que el proyecto es rentable, obteniendo una rentabilidad media anual del 34%, lo cual es un valor considerable.

Presupuesto realizado por la Ingeniera Técnica Industrial

Elena Domínguez Hernández

Valladolid, Septiembre de 2012



PLANOS

Diagrama de Bloques

Diagrama de Flujo de Proceso

Diagrama P&I

Distribución en Planta



PLIEGO DE CONDICIONES

DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL PLIEGO

Objeto

El objeto del presente pliego de condiciones es definir las exigencias mínimas aceptables que deberán cumplir las instalaciones proyectadas para la *“planta de tratamiento y gestión de baños ácidos de decapado”*. Señalará las normas a tener en cuenta a la hora de ejecutar las obras, los criterios a aplicar, así como las pruebas a realizar en las recepciones, plazo de garantía y abono de las obras etc., afectando a todas las obras incluidas en el proyecto.

Por lo tanto, son objeto de dicho Pliego de Condiciones todas las obras que sean necesarias llevar a cabo para los distintos oficios de la construcción con inclusión de materiales y medios auxiliares, proyectadas en los planos y el resto de la documentación, así como todas aquellas que, por su carácter de reforma, surjan durante el transcurso de las anteriores o que en el momento de la redacción del proyecto se pudiesen omitir y fuesen necesarias para la terminación completa de la obra.

En el caso de que fuese necesario ejecutar alguna clase de obra que no estuviese contemplada en dicho documento durante el transcurso de los trabajos, el constructor deberá ejecutarla con arreglo a las condiciones e instrucciones correspondientes que recibirá de la Dirección Facultativa.

Documentos que definen las obras

El presente Pliego, junto con la memoria, cuadro de precios y presupuesto, forman el proyecto que servirá de base para la ejecución de las obras.



El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares establece la definición de las obras en cuanto a su naturaleza intrínseca.

Los planos constituyen los documentos que definen la obra en forma geométrica y cuantitativa.

Compatibilidad y relación entre dichos documentos

En caso de incompatibilidad o contradicción entre los Planos y el Pliego, prevalecerá lo escrito en este último documento. En cualquier caso, ambos documentos tienen preferencia sobre los Pliegos de Prescripciones Técnicas Generales de la Edificación. Lo mencionado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y omitido en los planos o viceversa, habrá de ser considerado como si estuviese expuesto en ambos documentos, siempre que la unidad de obra esté definida en uno u otro documento y figure en el Presupuesto.

CONDICIONES GENERALES

El Ingeniero Director de la obra será el encargado de responder por las dudas que pudieran plantearse en la aplicación o interpretación de este Pliego de Condiciones.

El Contratista conoce y admite el presente Pliego de Condiciones por el mero hecho de intervenir en la obra.

Deberá ser puesto en conocimiento del Ingeniero Director cualquier variación que se pretendiese ejecutar sobre la obra proyectada. De no ser así, la Contrata ejecutante de dicha unidad de obra responderá de las consecuencias que esto originase. Si la variación procede del propietario no es justificante ni eximente el hecho anterior.



El Jefe de Obra nombrado por la Contrata deberá estar constantemente en la obra. Su misión es la de atender y entender las órdenes de la Dirección Facultativa, velar porque el trabajo se ejecute en buenas condiciones conociendo, para ello, el presente Pliego de Condiciones.

El Jefe de Obra se encargará de un *Libro de obra*. En él, la Dirección Facultativa escribirá todos los datos, órdenes o circunstancias que estime convenientes.

La demora de los Organismos Competentes en la tramitación del Proyecto así como la tardanza de su aprobación no serán responsabilidad del Ingeniero Director ante la Entidad Propietaria.

Las empresas montadoras de la instalación deberán disponer de los permisos y autorizaciones preceptivas para la realización de las obras. Incluirán en el costo de sus ofertas los gastos que puedan producirse por el proyecto y tramitación de la instalación correspondiente.

Alteraciones del programa de trabajo

El contratista de acuerdo con las disposiciones vigentes, presentará el programa de trabajo en el que se especificarán los plazos parciales y las fechas de terminación de la instalación, ajustándose a las anualidades contractuales establecidas.

El citado programa, una vez aprobado por la Administración, tendrá carácter de compromiso formal en cuanto al cumplimiento de los plazos parciales en él establecidos.

La falta de cumplimiento del programa de trabajo y de sus plazos parciales por causas imputables al contratista, dará lugar a la aplicación de sanciones establecidas en las disposiciones vigentes.

Cuando surjan problemas que hagan prever razonablemente alteraciones del programa de trabajo, se procederá con anticipación suficiente, a una redacción



modificada de dicho programa, contradictoriamente entre el representante del contratista y el director de la instalación, acompañándose la correspondiente propuesta de modificación para su tramitación reglamentaria y aprobación por la Administración.

CONDICIONES FACULTATIVAS

Condiciones facultativas legales

Las obras del proyecto, además de lo prescrito en el presente Pliego de Condiciones, se regirán por lo especificado en:

- Reglamentación general para la contratación según Decreto 3410/75.
- Pliego de Condiciones Generales para la contratación de Obras Públicas aprobado por Decreto 3854/70 de 31 de diciembre.
- Artículo 1588 y siguientes del Código Civil, en los casos que sea procedente su aplicación al contrato de que se trate.
- Reglamento e Instrucciones Técnicas de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria aprobado por decreto 1618/1980 de 4 de julio (B.O.E. n° 188 del 6/10/1981), con sus modificaciones posteriores.
- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo aprobada por orden del 9/3/71 del Ministerio de Trabajo.
- Ley de Seguridad Industrial del Banco de Seguros del Estado.
- Normas Internacionales estándar IEC y/o NEMA.
- Deberá cumplirse en todo momento el estudio de seguridad y salud realizado de acuerdo con el Real decreto 1627/1997 así como La Ley 31/95, de 8 de Noviembre de Prevención de Riesgos Laborales.



- Estudio de impacto ambiental realizado de acuerdo con el decreto 1/2000 y Ley 11/2003 de Evaluación de Impacto Ambiental de Castilla y León.

Complementarias

- Normas UNE del Instituto de Racionalización del trabajo, aplicable a estos materiales.
- Normas DIN y UNE para materiales de las conducciones.
- Normas Internacionales estándar IEC y/o NEMA.
- Recomendaciones UNESA.

Las normas incluidas en el primer apartado, tendrán prioridad absoluta y serán de obligado cumplimiento. Las restantes podrán ser mejoradas por el presente pliego o por decisiones de la dirección técnica de la instalación.

Actividades y obligaciones del contratista

La responsabilidad de la ejecución de todos los trabajos consultados en el Proyecto la tiene el Contratista, incluyendo las pruebas parciales de funcionamiento, puesta en servicio y entrega final de las instalaciones en funcionamiento.

El Contratista estará obligado al cumplimiento de la Reglamentación del trabajo correspondiente, la contratación del seguro obligatorio, subsidio familiar y vejez, seguro de enfermedad y todas aquellas reglamentaciones de carácter social vigentes o que en lo sucesivo se dicten. En particular, deberá cumplir lo dispuesto en la Norma UNE 24042 “Contratación de obras; Condiciones Generales”, en caso de no modificarlo el presente Pliego de Condiciones.

El Contratista deberá estar clasificado, según Orden del Ministerio de Hacienda de 28 de marzo de 1968, en el Grupo, Subgrupo y Categoría correspondientes



al Proyecto y que se fijará en el Pliego de Condiciones Particulares, en caso de que proceda.

El personal de la empresa Contratista debe ser altamente cualificado; además, debe ser adecuado para las funciones específicas que realice.

La empresa contratista deberá contar al menos con un Ingeniero Industrial autorizado, con experiencia comprobada, como supervisor responsable ante la Inspección, siendo su permanencia en la obra obligatoria.

El Contratista deberá tener casa comercial instalada y estar autorizado para ejecutar las instalaciones.

El Contratista deberá revisar cuidadosamente toda la información que le sea entregada y deberá consultar toda duda, discrepancia, o problema de interpretación del proyecto, antes del inicio de las obras.

El oferente deberá suministrar e instalar todos los materiales necesarios para el buen funcionamiento de las instalaciones descritas, aunque los mismos no se hallen expresamente mencionados en los planos y detalles constructivos o en la memoria técnica.

Los suministros y montajes deben estar de acuerdo con las especificaciones de esta memoria, planos respectivos, y criterios que marque la Dirección de Obra.

Todos los materiales utilizados deben ser nuevos, sin uso, de primera calidad, y cumplir con las especificaciones técnicas respectivas.

Con el suministro se deberán entregar catálogos y especificaciones técnicas de todos los materiales básicos utilizados.

El Contratista deberá dar cumplimiento a lo dispuesto en los reglamentos y normas detalladas anteriormente. Ante una duda sobre la norma que se deba respetar, deberá aplicar la más restrictiva.

En caso de discrepancia entre normas regirá lo indicado en los planos o éstas especificaciones, debiendo solicitar ratificación escrita del supervisor.



El Contratista deberá verificar los datos, ubicación exacta, distancia y niveles indicados en los planos con objeto de tener una clara visión de las condiciones reales del terreno.

Antes de iniciar sus obras el Contratista elaborará sus Cronogramas de trabajo, en los que deberá quedar claramente expresada la coordinación con las otras Especialidades o Subcontratos que su programa comprenda, o la totalidad del proyecto en su caso. Estos programas deberán tener la ratificación por escrito de la Inspección.

El Contratista deberá mantener, en la obra, un juego completo de planos y especificaciones del proyecto, con el único fin de señalar en ellos, en forma destacada, con lápiz rojo o similar, las modificaciones introducidas al proyecto durante el desarrollo de las obras, con la aprobación por escrito de la Inspección. Terminado el trabajo, estos planos habrán de ser entregados a la Inspección.

El Contratista deberá llevar un registro único, cronológico, que describa brevemente el caso tratado con la indicación del plano o documento comprometido y los acuerdos adoptados (Libro de Obras).

El Contratista deberá solicitar la aprobación escrita de la Inspección para las actividades de los siguientes tipos:

- Programas de trabajo y sus revisiones.
- Documentos de avance y control de obras.
- Cambios o modificaciones acordadas en los planos y documentos.
- Cumplimiento de exigencias de calidad de ejecución de trabajos o manipulación de equipos y materiales que hayan sido motivo de observaciones o reparos

En todo momento el Contratista debe permitir que la Inspección y las personas que éste autorice tengan libre acceso a los depósitos, talleres y zonas de trabajo bajo su responsabilidad, dando las facilidades para que se inspeccione el equipo o el trabajo que se realiza, se informe del avance o de los métodos de prueba y resultados obtenidos.



La inspección deberá disponer de todos los medios y colaboración para desarrollar estas pruebas, con objeto de verificar si se han cumplido las recomendaciones del fabricante o las especificaciones, cuando lo estime necesario.

El Contratista deberá dar fiel cumplimiento, sin excepción, a las Normas de Seguridad establecidas por la Intendencia Municipal. En caso necesario solicitará la ratificación por escrito de la Dirección de Obra de algún aspecto particular de estas normas.

El Contratista deberá resolver cada problema que se presente con la mayor brevedad y sin exceder el plazo fijado por la Inspección.

Cualquier cambio necesario para adaptar la instalación a las facilidades de obra deberá contar con la aprobación previa del Director de Obra.

El Contratista deberá mantener la limpieza de los equipos y de las áreas de trabajo bajo su cargo y se obliga a no dar, ni permitir, otros usos de las instalaciones que no sean los específicos para los cuales fueron proyectadas.

El Contratista será responsable de las reparaciones y terminaciones de las obras existentes o, en ejecución por terceros, que sufran daños o alteraciones durante el desarrollo de los trabajos de su competencia.

El Contratista será responsable de dar una buena presentación y terminación a los trabajos que ejecute. Las obras que sean rechazadas por la Inspección debido a mala presentación o terminación, elementos defectuosos por mala manipulación, desviación a lo especificado en planos y documentos, defectos de montaje de equipos y elementos en general de la instalación, deberán ser reparadas sin costo para la Intendencia Municipal.

Las pruebas parciales de funcionamiento y la puesta en servicio serán actividades que quedan bajo la responsabilidad de la Inspección con la asistencia del Contratista.



Facultades de la dirección técnica

La Dirección Facultativa debe resolver todas las dudas que surjan de la interpretación de los documentos del Proyecto o posteriormente durante la ejecución de los trabajos. También debe decidir en los casos en los que aparezcan conceptos en los documentos que no son reflejados en los Planos del Proyecto y en los casos recíprocos.

La Empresa Constructora que lleve a cabo las obras deberá tener en cuenta en la formulación del Presupuesto las especificaciones no descritas en el presente Pliego con relación al Proyecto pero que figuren en el resto de la documentación.

La Contrata debe consultar las correspondientes dudas para una interpretación correcta de la calidad constructiva y de las características del Proyecto.

Tramitación

Una vez solicitada la reglamentaria licencia de obras y pagados al municipio los derechos reglamentarios, no se dará comienzo a las obras hasta tanto no haya recibido el propietario las licencias correspondientes, o hubiesen transcurrido los dos meses reglamentarios desde la fecha de la solicitud sin haber recibido contestación alguna.

Al Contratista se le entregará una copia de los planos y pliego de condiciones del Proyecto, así como cuantos planos o documentos necesite para la completa ejecución de la obra.

En la obra deberá estar la documentación completa o fotocopia de todos los documentos que pudieran ser solicitados por los representantes de la autoridad, en su defecto, cuando den comienzo las obras o durante su transcurso.

Una vez terminados los trabajos, el Contratista tiene un mes como plazo máximo para actualizar los diversos planos y documentos existentes, según las



características de la obra terminada. Deberá entregar al Director de Obra dos expedientes completos relativos a los trabajos realmente ejecutados.

La licencia de obras se entiende que se refiere, única y exclusivamente, a las obras que se reseñan en el presente proyecto; el resto de obra o parte de ella no considerada en el mismo y que se llevase a efecto se entiende que es por cuenta y riesgo y responsabilidad del propietario no responsabilizándose el autor del proyecto ni civil ni criminalmente ni ante la administración de la ejecución de las mismas ni de los accidentes o daños que sucediesen en esas obras o partes de obra. Lo mismo se entiende para obras o modificaciones que se llevasen a efecto con posterioridad a las inspecciones oficiales.

El conjunto de tareas tendentes a lograr la conexión definitiva entre las nuevas instalaciones y las redes generales del municipio se realizarán a entero costo por parte del Contratista. Entre estas tareas se encuentran la tramitación de los permisos requeridos para con los ministerios, el pago de los tributos exigidos en el momento de contratar la carga, el pago por la ejecución de la obra, la coordinación con el ayuntamiento durante la ejecución de la obra así como todas las tareas o trabajos necesarios para lograr el suministro correcto de energía eléctrica.

El cambio de titular del contrato de servicio se llevará a cabo una vez recibidas las obras de infraestructura, que implican tanto la terminación completa de las obras así como la realización de las pruebas necesarias para su validación.

Estos costos serán debidamente valorados y pagados por la Propiedad de acuerdo a los informes de viabilidad técnica y al presupuesto previo suministrado a futuros.

Responsabilidades administrativas

Se entiende que la responsabilidad total por el comienzo de las obras sin licencias y autorizaciones del reglamento recaen totalmente sobre el propietario, no teniendo, por tanto, derecho a reclamar de la Dirección



Facultativa puesto que cuando el técnico recibe la comunicación del propietario indicando que se da comienzo a las obras, éste supondrá que el propietario posee la licencia de obras u otras autorizaciones necesarias, no estando obligado a pedir que le sean mostradas, toda vez que para ello estén los Agentes de la Autoridad.

Seguridad en el trabajo

El Contratista está obligado a cumplir cuantas condiciones en esta materia fueran de pertinente aplicación, así como todo lo recogido en el presente pliego y en el estudio de seguridad e higiene incluido en este proyecto. Asimismo, deberá proveer cuanto fuese preciso para el mantenimiento de las máquinas, herramientas, materiales y útiles de trabajo en debidas condiciones de seguridad.

El personal de contrata viene obligado a usar todos los dispositivos y medios de protección personal, herramientas y prendas de seguridad exigidos para eliminar o reducir los riesgos profesionales tales como casco, gafas, banqueta aislante, etc. pudiendo el director de obra suspender los trabajos, si estima que el personal de la contratación está expuesto a peligros que son corregibles.

El director de obra podrá exigir del Contratista, ordenándolo por escrito, el cese en la obra de cualquier empleado u obrero que, por imprudencia temeraria fuera capaz de producir accidentes que hicieran peligrar la integridad física del propio trabajador o de sus compañeros.

El director de la instalación podrá exigir del Contratista, en cualquier momento, antes o después de la iniciación de los trabajos, que presente los documentos acreditativos de haber formalizado los regímenes de Seguridad Social de todo tipo (afiliación, accidente, enfermedad, etc.), en la forma legalmente establecida.



Seguridad pública

El Contratista deberá tomar todas las precauciones máximas en todas las operaciones y usos de equipo para proteger a las personas, animales y cosas de los peligros procedentes del trabajo, siendo de su cuenta la responsabilidad que por tales accidentes se ocasionen.

Además mantendrá una póliza de seguros, que le proteja suficientemente a él y a sus empleados y operarios frente a las responsabilidades por daños, responsabilidad civil, etc., en que pudieran incurrir el Contratista o terceros, consecuencia de la ejecución de trabajos.

ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

El Contratista ordenará los trabajos en la forma más eficaz para que se ejecuten perfectamente y las obras siempre se realizarán según las indicaciones del director de obra.

Datos de la Obra

Se entregará al Contratista una copia de los planos y pliego de condiciones del Proyecto, así como cuantos planos o documentos necesite para la completa ejecución de la obra.

El Contratista podrá tomar nota o sacar copia a su Memoria, Presupuestos y Anexo del Proyecto, así como segundas copias de todos los documento. El Contratista se hace responsable de la buena conservación de los originales de donde obtenga las copias, los anales serán devueltos al Director de Obra después de su utilización.

El Contratista no podrá realizar modificaciones en el Proyecto sin la aprobación previa y por escrito del Director de Obra.



Documentación conforme a obra

La documentación tiene por objeto brindar todos los elementos necesarios para el mantenimiento, operación de las instalaciones e identificación de elementos y partes de la misma y todos los componentes de la instalación podrán identificarse con los planos conforme a obra, prescindiendo de las identificaciones de partes.

Toda esta documentación es indicativa y la mínima exigida. En caso de no conseguir el objetivo descrito, el Contratista está obligado a elaborar información adicional a su costo.

Por otra parte, los planos entregados deben ser actualizados por el Contratista, con los datos adicionales y/o modificaciones surgidas durante la ejecución de la obra, sin ser necesario elaborar nuevos planos. Sin embargo, si será necesario que el Contratista elabore el resto de planos.

La actualización de las copias de planos por parte del Contratista, y la anotación de modificaciones o datos, será diaria a fin de evitar la pérdida de información.

Cronograma de ejecución de las Obras

El Contratista elaborará sus Cronogramas de trabajo, antes de iniciar las obras, en los que deberá quedar claramente expresada la coordinación con las otras Especialidades o Subcontratos que su programa comprenda, o la totalidad del proyecto en su caso. Estos programas deberán tener la ratificación por escrito de la Inspección.



Planteamiento del trabajo

El contratista organizará los trabajos en la forma más eficaz para la perfecta ejecución de los mismos, y las obras se realizarán siempre siguiendo las indicaciones del Director de Obra.

Interrupción de los trabajos

La interrupción de las obras se comunicará al Director de Obra de la misma forma que se le comunicó el comienzo de las mismas.

El Contratista tiene la obligación de retirar todos los andamios o elementos de construcción que puedan suponer un peligro o estorbo.

El propietario tiene la obligación de vigilar periódicamente elementos de atado o apoyo que puedan deteriorarse una vez interrumpidas las obras.

Si la Dirección Facultativa en dos visitas sucesivas a las obras, en días y horas de labor encontrase éstas paradas y sin personal en las mismas, entenderá que las obras han quedado interrumpidas por tiempo indefinido; así comunicará a su Colegio, entendiéndose que desde este momento declina la responsabilidad por deterioro natural de la obra, así como los daños que a terceras personas pudieran derivar del abandono de materiales y andamiaje.

Reanudación de los trabajos

La reanudación de los trabajos deberá ser puesta en conocimiento de la Dirección Facultativa en forma fehaciente, pues se comprende que no se hará responsable de las obras o parte de las mismas que se ejecutasen sin su conocimiento.



Terminación de las obras

Cuando las obras estén totalmente terminadas, el director de obra certificará tal extremo a reserva de aquello que las inspecciones reglamentarias indicasen que se ha de reformar, entendiéndose que la obra no está en disposición de uso hasta que las inspecciones de reglamento emitan su dictamen favorable, siendo obligación del contratista dar cumplimiento a lo que los inspectores mandasen.

Uso de la construcción

Todo usuario de la construcción tiene derecho a consultar al técnico creador del proyecto, sobre las cargas que puede colocar sobre los elementos de la misma, siendo el usuario el responsable de los daños que pudieran derivarse por mal uso de la construcción.

El propietario es responsable de los daños que pudieran derivarse por mala conservación de la construcción o falta de las reparaciones y cuidados que sean normales o de reglamento.

Replanteo general de la obra

El Contratista hará sobre el terreno el replanteo general de las obras de la traza marcando de una manera completa y detallada cuantos puntos sean precisos y convenientes para la determinación más completa de sus alineaciones y demás elementos. Asimismo señalará también sobre el terreno, puntos o referencias de nivel con las correspondientes referidas a un único plano de comparación.

De este replanteo, que deberán presenciar el ingeniero director por sí mismo o delegar en persona autorizada debidamente, se levantará acta suscrita por el ingeniero director y contratista o por sus representantes. A partir de la fecha del acta y durante todo el tiempo que se invierta en la ejecución de las obras, la



vigilancia y conservación de las señales o puntos determinantes de traza y nivelación correrá a cargo del contratista.

Será de cuenta del contratista de conformidad con lo dispuesto en el epígrafe a) del artículo 4 del decreto 137/1960 de 4 de febrero, todos los gastos que el replanteo ocasione.

El contratista llevará a cabo durante la ejecución de las obras cuantos replanteos parciales estime necesarios. En todos ellos deberá atenerse al replanteo general previamente efectuado, y será de la exclusiva responsabilidad del contratista, siendo así mismo de su cuenta cuantos gastos se originen por ello.

El ingeniero director podrá en todo momento proceder a comprobar los replanteos hechos por el contratista, siendo obligación de este el facilitar a su cargo, todo el personal y cuantos elementos juzgue preciso el ingeniero para realizar con la mayor seguridad la comprobación que desee.

Cuando el resultado de esta comprobación, sea cualquiera la fecha y época en que se ejecute, se encontrarán errores de traza, nivelación o de otra clase, el ingeniero ordenará la demolición de lo erróneamente ejecutado, restitución a su estado anterior de todo aquello que indebidamente haya sido excavado o demolido, y ejecución de las obras accesorias o de seguridad para la obra definitiva que pudieran ser precisas como consecuencias de las falsas operaciones hechas.

Todos los gastos de demoliciones y de obras accesorias o de seguridad son de cuenta del contratista sin derecho a ningún abono por parte de la administración y sin que nunca pueda servir de pretexto el que el ingeniero haya visto o visitado con anterioridad y sin hacer observación alguna las obras que ordena demoler o rectificar, o incluso, el que ya hubieran sido abonadas en relaciones o certificaciones mensuales anteriores.



Mejoras y variaciones del proyecto

No se considerarán como mejoras ni variaciones del proyecto más que aquellas que hayan sido ordenadas, expresamente por escrito por el Director de Obra y convenido el precio antes de proceder a su ejecución.

Recepción de material

Los materiales serán reconocidos antes de su puesta en obra por la Dirección Facultativa, sin cuya aprobación no podrán emplearse en dicha obra.

La Contrata proporcionará al menos dos muestras para su examen por parte de la Dirección Facultativa. Ésta se reserva el derecho de desechar aquellos que no reúnan las condiciones que, a su juicio, sean necesarias. Los materiales desechados en el plazo más breve

Las muestras de los materiales, una vez que hayan sido aceptados, serán guardadas juntamente con los certificados de los análisis para su posterior comparación y contraste.

Organización

El Contratista actuará de patrón legal aceptando todas las responsabilidades correspondientes y quedando obligado al pago de los salarios y cargas que legalmente están establecidos y en general a todo cuanto se legisle, decrete u ordene sobre el particular antes o durante la ejecución de la obra.

Dentro de lo estipulado en el Pliego de Condiciones, la organización de la obra, así como la determinación de la procedencia de los materiales que se empleen, estará a cargo del Contratista, a quien corresponderá la responsabilidad de la seguridad contra accidentes.

El Contratista deberá, no obstante, informar al Director de la Obra, de todos los planes de organización técnica de la obra, así como de la procedencia de los



materiales y cumplimentar cuantas órdenes le dé éste en relación con datos extremos.

En las obras por el Titular, el Contratista deberá dar cuenta diaria al director de la admisión o alquiler de elementos auxiliares y cuantos gastos haya de efectuar. Para los contratos de trabajo, compra de material o alquiler de elementos auxiliares, cuyos salarios, precios o cuotas sobrepasen en más de un 5% de los normales en el mercado, solicitará la aprobación previa del Director de Obra, quien deberá responder dentro de los ocho días siguientes a la petición, salvo casos de reconocida vigencia en los que dará cuenta posteriormente.

Ejecución de la instalación

Las obras se ejecutarán conforme al Proyecto y a las condiciones contenidas en este Pliego de Condiciones y de acuerdo con las especificaciones indicadas.

El Contratista, salvo aprobación por escrito del Director de Obra, no podrá hacer ninguna alteración o modificación de cualquier naturaleza tanto en la ejecución de la obra en relación con el proyecto como en las condiciones técnicas especificadas, sin perjuicio de lo que en cada momento pueda ordenarse por el Director de Obra, a tenor de lo dispuesto anteriormente.

El Contratista no podrá utilizar personal en los trabajos que no sea de su exclusiva cuenta y cargo, salvo en lo indicado anteriormente. Igualmente será de su exclusiva cuenta y cargo aquel personal ajeno al propiamente manual y que sea necesario para el control administrativo del mismo. El Contratista deberá tener al frente de los trabajos un técnico suficientemente especializado a juicio del Director de Obra.

La instalación será realizada por personal competente, utilizando los medios técnicos actuales para este tipo de trabajo, procurando la mejor ejecución, en cuanto a calidad y estética se refieren



Subcontratación de obras

El adjudicatario podrá concretar con terceros la realización de determinadas unidades de obras salvo que el contrato disponga lo contrario o que de su naturaleza y condiciones se deduzca que la obra ha de ser ejecutada directamente por el adjudicatario.

El subcontrato deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Que se dé conocimiento por escrito al Director de Obra del subcontrato a celebrar, con indicación de las partes de obra a realizar y sus condiciones económicas, a fin de que aquel la autorice previamente.
- Que las unidades de obra que el adjudicatario contrate con terceros no exceda del 50% del presupuesto total de la obra principal.
- En cualquier caso el contratante no quedará vinculado en absoluto ni reconocerá ninguna obligación contractual entre él y el subcontratista y cualquier subcontratación de obras no eximirá al Contratista de ninguna de sus obligaciones respecto a la Propiedad.

Cuando las contratas sean parciales o por oficios, se entiende que cada contrato parcial estará sujeto a las condiciones estipuladas en este Pliego, y lo mismo se entiende para los subcontratistas.

Los contratistas parciales (de partes de obra) y los subcontratistas se consideran como contratistas a todos los efectos y obligaciones previstas en los diversos apartados del presente Pliego de Condiciones.

Plazo de ejecución

Los plazos de ejecución total y parcial, se empezarán a contar a partir de la fecha de firma de contrato. El Contratista estará obligado a cumplir con los plazos que se señalen en el contrato para la ejecución de las obras y que serán improrrogables.



Por cambios determinados por el Director de Obra, los plazos podrán ser objeto de modificaciones. En caso de que no fuera posible realizar los trabajos en las fechas previstas o tuvieran que ser suspendidos, una vez empezados, por cualquier causa ajena al Contratista, será concedida la prórroga necesaria por el Director de Obras

Cumplimiento de los contratos y recepción

El Contratista cumplirá el contrato cuando haya realizado la totalidad de su objeto de acuerdo con los términos del mismo y a satisfacción de la Propiedad. En todo caso, su constatación exigirá por parte de la Propiedad un acto formal y positivo de recepción o conformidad dentro del mes siguiente de haberse producido la entrega o realización del objeto del contrato.

En los contratos se fijará un plazo de garantía a contar a partir de la fecha de recepción o conformidad, transcurrido el cual sin objeciones por parte de la Propiedad salvo los supuestos en que se establezca otro plazo, quedará extinguida la responsabilidad del Contratista.

En el caso de no hallarse la obra en estado de ser recibida, se hará constar así en el acta y se darán al Contratista las instrucciones precisas y detalladas para remediar los defectos observados, fijándose un plazo de ejecución. Expirado dicho plazo, se hará una nueva inspección. Las obras de reparación serán a cuenta y a cargo del Contratista. Si el Contratista no cumpliera estas prescripciones podrá declararse rescindido el contrato con pérdida de fianza.

Períodos de garantía

El período de garantía empezará a contar desde la fecha de aprobación del Acta de Recepción y será señalado en el contrato.



El Contratista es responsable de la conservación de la obra hasta que tenga lugar la recepción definitiva. Debe responsabilizarse de las reparaciones por defectos de ejecución o mala calidad del material.

Una vez aprobada la liquidación del contrato, si no resultaren responsabilidades que deban ejercitarse sobre la garantía y transcurrido su plazo, se dictará acuerdo de devolución de ésta o cancelación de aval. En el supuesto de recepción parcial, el Contratista solo podrá solicitar la devolución o cancelación de la parte proporcional de la garantía cuando así se autorice expresamente en el pliego de cláusulas administrativas particulares.

Transcurrido un año desde la fecha de terminación del contrato, sin que la recepción formal y la liquidación hubiesen tenido lugar por causas no imputables al Contratista, se procederá a la devolución o cancelación de las garantías.

Pago de obras

El pago de las obras se realizará mediante una liquidación tras finalizar las obras.

Dentro de los meses siguientes a la fecha de expedición de los correspondientes documentos que acrediten la realización total del contrato, la Propiedad tendrá la obligación de abonar el precio.

La comprobación, aceptación o reparos deberán quedar terminados por ambas partes en un plazo máximo de 15 días.

Abono de materiales acopiados

Cuando, a juicio del Director de Obra, no haya peligro de que desaparezca o se deterioren los materiales acopiados y reconocidos como útiles, se abonarán con arreglo a los precios descompuestos en la adjudicación. Dicho material será indicado por el Director de Obra, que lo reflejará en el acta de recepción



de obra, señalando el plazo de entrega en los lugares previamente indicados. El Contratista será responsable de los daños que se produzcan en la carga, transporte y descarga de este material.

CONDICIONES LEGALES

Ejecución y adjudicación de la obra

La ejecución de las obras podrá contratarse por uno de los siguientes sistemas:

- Por tanto alzado, que comprenderá la realización de todo o una parte de la obra.
- Por unidad de obra.
- Por la administración directa o indirecta.
- Por contratos de mano de obra, siendo por cuenta de la propiedad los materiales y medios auxiliares.

Los contratistas pueden ser los españoles o extranjeros (con derechos civiles con arreglo a las leyes) y las sociedades y compañías constituidas y reconocidas en España.

Los contratos generalmente se realizan mediante un documento privado, que podrá elevarse a escritura pública a petición de cualquiera de las partes.

La adjudicación de la obra se podrá realizar por:

- Subasta pública o privada.
- Concurso público o privado.
- Adjudicación directa.

En caso de diferencias, ambas partes se comprometen a someterse al arbitraje de compradores. Uno de ellos estará designado por la contrata, otro por el propietario y tres Ingenieros por el Colegio Oficial (siendo uno de éstos el director de la obra).



En caso de no llegar a un acuerdo se someterá la discusión de todas las cuestiones a las Autoridades y Tribunales Administrativos.

La ejecución de la obra se ajustará a lo expuesto en este proyecto y a lo que dictamine la dirección facultativa.

El contratista deberá comenzar las obras dentro de los quince días siguientes de la firma del contrato. El plazo de ejecución de la obra previamente fijado deberá cumplirse contando a partir del comienzo de la misma. Se aplicará una sanción en caso de incumplimiento de dicho plazo, salvo casos de fuerza mayor. No se considerará motivo de demora de las obras la posible falta de mano de obra o dificultades en la entrega de los materiales. Dicha sanción varía según lo establecido en las cláusulas del contrato entre comitente y contrata.

Recepción de obras

Una vez terminadas las obras, se llevará a cabo su recepción provisional en presencia de un representante autorizado por la propiedad contratante, el facultativo encargado de la dirección de la obra y el contratista, levantándose el acta correspondiente.

Si las obras no están en estado de ser recibidas se hará constar en acta, el colaborador facultativo dará al contratista una serie de instrucciones que éste deberá llevar a cabo para la correcta finalización de la obra, fijando un nuevo plazo.

El contratista perderá su fianza al no cumplir el contrato, al no ser que la propiedad crea precedente fijar un nuevo plazo prorrogable.

Al realizarse la recepción provisional de las obras deberá el contratista deberá presentar las autorizaciones de los Organismos Oficiales de la Provincia para el uso y puesta en servicio de las instalaciones necesarias.



El plazo de la garantía comenzará a contarse a partir de la fecha de la recepción provisional de la obra. Dentro del mes siguiente al cumplimiento del plazo de garantía, se procederá a la recepción definitiva de las obras.

El plazo de garantía será de un año, y durante este período el Contratista corregirá los defectos observados, eliminará las obras rechazadas y reparará las averías que por dicha causa se produzcan, todo ello por su cuenta y sin derecho a indemnización alguna, ejecutándose en caso de resistencia dichas obras por la propiedad con cargo a la fianza.

El contratista garantiza a la propiedad contra toda reclamación de tercera persona derivada del incumplimiento de sus obligaciones económicas o disposiciones legales relacionadas con la obra. Una vez aprobada la recepción y liquidación definitiva de las obras, la propiedad tomará acuerdo respecto a la fianza depositada por el contratista.

Tras la recepción definitiva de la obra el contratista quedará relevado de toda responsabilidad salvo lo referente a los vicios ocultos de la construcción debidos a incumplimiento doloso del contrato por parte del empresario, de los cuales responderá en el término de 15 años. Transcurrido este plazo quedará totalmente extinguida la responsabilidad.

Obligaciones y responsabilidades de la contrata

El Contratista entregará en el acto de la recepción provisional, de acuerdo con la Dirección Facultativa, los Planos de todas las instalaciones ejecutadas en la obra, incluyendo las modificaciones o estado definitivo en que se encuentren.

El Contratista se compromete a entregar las autorizaciones que tienen que expedir las Direcciones Provinciales de Industria, Sanidad, etc., y autoridades locales, para la puesta en servicio de dichas instalaciones.

El Contratista es el responsable de todos los arbitrios, licencias municipales, vallas, alumbrado, multas, etc., derivados de las obras desde su inicio hasta su terminación. Así mismo, también será el responsable de la conservación del



edificio, durante el tiempo entre la recepción provisional y la definitiva. Para ello, deberá contar con el personal suficiente para atender todas las averías y reparaciones necesarias, incluso aunque el establecimiento fuese ocupado o utilizado por la propiedad antes de la recepción definitiva.

Toda la obra se realizará conforme a lo establecido en el Proyecto que sirve de base, en el presente Pliego de Condiciones y en las órdenes e instrucciones que se dicten por el Arquitecto Director o ayudantes delegados, lo cuales fijarán el orden de los trabajos.

El Contratista tiene la obligación de facilitar todos los medios auxiliares que se precisen así como locales para almacenes adecuados pudiendo adquirir los materiales dentro de las condiciones exigidas en el lugar y sitio que tenga por conveniente. El propietario se puede reservar el derecho de comprobar que el Contratista ha cumplido sus compromisos de pago de jornales, materiales invertidos en la obra y cargas en materia social.

La Dirección Técnica podrá ordenar la demolición inmediata o sustitución de cualquier parte de la obra ejecutada que no esté de acuerdo con el Pliego de Condiciones o con las correspondientes instrucciones.

El Contratista estará obligado a demoler aquellas partes en que se aprecie la existencia de vicios ocultos, aunque se hubieran recibido provisionalmente.

Son obligaciones del Contratista, además, las siguientes:

- Presenciar las operaciones de mediciones y liquidaciones, haciendo las observaciones que estime oportunas, sin perjuicio del derecho que le asiste para examinar y comprobar dicha liquidación
- El cumplimiento de las Ordenanzas y disposiciones Municipales en vigor.
- Ejecutar cuanto sea necesaria para la buena construcción y aspecto de las obras, aunque no esté expresamente estipulado en este pliego.



Rescisión de contrato

Las causas de rescisión de contrato son:

- Muerte o incapacidad del Contratista.
- Quiebra del Contratista.

Las causas de las alteraciones del contrato son las siguientes:

- Una modificación del Proyecto que, a juicio de la Dirección Facultativa, represente alteraciones fundamentales del mismo y, en cualquier caso, siempre que la variación del presupuesto de contrata represente en más o menos el 25% como mínimo del importe total como consecuencia de estas modificaciones.
- La modificación de unidades de obra que representen variaciones en más o menos el 40% como mínimo de algunas de las unidades que figuran en las mediciones del Proyecto, o más de un 50% de unidades del Proyecto modificado.
- La suspensión de obra comenzada y, en todo caso, siempre que no se dé comienzo a la obra dentro del plazo de 90 días a partir de la adjudicación por causas ajenas a la Contrata. En este caso la devolución de la fianza será automática. Además la suspensión de la obra comenzada, cuando el plazo de suspensión exceda de seis meses.
- El incumplimiento de las cláusulas contractuales en cualquier medida, extensión modalidad, siempre que sea por descuido inexcusable o mala fe manifiesta a juicio de la Dirección Facultativa.
- La inobservancia del plan cronológico de la obra y, en especial, el plazo de ejecución y terminación total de la misma.

Para los trabajos finalizados por completo existirán dos recepciones: provisional y definitiva, de acuerdo con lo estipulado anteriormente. Por otra parte, para los trabajos incompletos, sólo se efectuará una única y definitiva recepción y con la mayor brevedad posible, sea cuando sea su estado de adelanto.



CONDICIONES ECONÓMICAS

El Contratista recibirá el importe de todos los trabajos realizados según las indicaciones del proyecto y las condiciones generales y particulares que fijan la ejecución de las obras contratadas.

Para asegurar que se reúnen las condiciones requeridas para el cumplimiento del contrato, el Ingeniero Técnico Director podrá exigir al contratista referencias bancarias de otras entidades o personas, presentándose éstas antes de la firma del contrato.

Cumplimiento de la fianza

La fianza será convenida entre el Contratista y el Ingeniero Técnico Director, salvo otras indicaciones. En caso de que el Contratista se niegue a realizar los trabajos precisos para terminar la obra, el Ingeniero Técnico Director se los ordenará ejecutar a un tercero abonando su importe con la fianza depositada.

La fianza será devuelta en un plazo máximo de 8 días a partir de la forma del acta de la recepción definitiva de la obra. En el caso de que existan recepciones parciales el contratista no tendrá derecho a que se le dé la parte proporcional a la fianza.

Revisión de precios

La revisión de precios no se producirá ni durante la ejecución ni al final de la obra, excepto en el caso de que así lo señalen expresamente la Propiedad y la Contrata en el documento de Contrato que se formalice antes del comienzo de las obras. Este contrato deberá recoger la fórmula o fórmulas de revisión de precios a aplicar.



Serán fijados por el Ingeniero Técnico Directos aquellos precios de unidades de obra, de materiales o de mano de obra de trabajos que no figuren en el contrato.

El Contratista podrá reclamar aumento de precios únicamente en el caso de que haya hecho la reclamación oportuna antes de firmar el contrato. No podrá hacer reclamaciones basadas en indicaciones recogidas en la Memoria.

Los errores materiales o aritméticos existentes en el presupuesto se podrán corregir.

Se admitirá la revisión de precios durante épocas anormales en el caso de contratar las obras a riesgo y ventura.

Obras contratadas por administración

Son aquellas en las que el propietario es el encargado de llevar las gestiones para su ejecución.

Se distinguen dos modalidades:

- Obras por administración directa: es el propietario el que lleva directamente las gestiones, es a la vez el contratista.
- Obras por administración indirecta: el propietario nombra a un ejecutor que realizará las gestiones necesarias.

El propietario recibirá todos los meses una medición aproximada de los trabajos por parte el ejecutor, y entregará a éste el abono de las cuentas de administración quincenalmente.

El ejecutor necesitará la aprobación del propietario o del Ingeniero Técnico Director en el caso de que realice él la adquisición de los materiales para los precios y muestras de éstos.

En caso de que se demuestra que el rendimiento de la mano de obra es inferior a lo normal por parte del Ingeniero Técnico Director, se lo notificará por escrito



al responsable (el ejecutor). También es responsabilidad del ejecutor los defectos de construcción, así como accidentes o daños a los obreros, sin embargo no será el responsable del mal resultado de los materiales.

Valoraciones

El abono de las obras se realizará siguiendo uno de los siguientes procedimientos:

- Tipo fijo o tanto alzado total.
- Tipo fijo o tanto alzado por unidad de obra.
- Tanto variable por unidad de obra.
- Por lista de jornales y recibos de materiales.
- Por horas de trabajo.

Los pagos se efectuarán por el propietario en el plazo establecido previamente entregándose únicamente al Contratista o a una persona autorizada por éste y el importe será el correspondiente al de las certificaciones de obra expedidas por el Ingeniero Técnico Director.

No se podrá retrasar o suspender el ritmo de trabajo como consecuencia del retraso en el pago.

En el caso de ampliación del proyecto se continuará siguiendo las instrucciones del Arquitecto Directos hasta que se disponga del proyecto reformado.

En el caso de realizar mejoras de trabajos libremente ejecutados por parte del Contratista, éste únicamente tendrá derecho al abono de lo correspondiente en el caso de que hubiera realizado la obra de acuerdo a lo indicado en el proyecto.

El caso de que exista necesidad de realizar otra clase de trabajos no contratados, el Ingeniero Técnico Director deberá contratar una tercera persona para ello.



El importe de indemnización por retraso no justificado en el plazo de terminación de las obras se fijará entre uno de los siguientes:

- Una cantidad fijada durante el tiempo de retraso
- El abono de un % anual sobre el importe del capital desembolsado a la terminación del plazo fijado durante el tiempo que dure el retraso.
- El importe de la suma de perjuicios materiales causado de la imposibilidad de ocupación del inmueble.

El Contratista recibirá un 4,5% anual durante el tiempo del retraso si el propietario no realiza el pago durante el mes siguiente al plazo convenido. En caso de que transcurran dos meses a partir de este plazo, el Contratista tendrá derecho a rescindir el contrato.

El Contratista no tendrá derecho a indemnización por causa de pérdidas, averías o perjuicios ocasionados en las obras, sino en los casos de fuerza mayor tales como:

- Daños producidos por terremotos, maremotos, por vientos huracanados, mareas, crecidas de ríos superiores a los que sean de prever en el país y siempre que se tenga constancia de que, por parte del Contratista, se tomaron todas las medidas posibles.
- Incendios causados por electricidad atmosférica
- Daños producidos por movimiento del terreno en el que se está construyendo.
- Destrozos ocasionados por tiempo de guerra, movimientos populares o robos.
- Cualquier otra daño contemplado en la Ley de Contratos del Estado.

La indemnización se referirá al abono de las unidades de obra ya ejecutadas o materiales acoplados a pie de obra.



Disposiciones varias

Únicamente se admitirán mejoras de obra en el caso de que el Ingeniero Técnico Director lo haya ordenado por escrito. Asimismo, tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratados excepto en el caso de error de las mediciones del proyecto.

El Contratista debe asegurar la obra contratada durante su ejecución hasta la recepción definitiva.

En caso de siniestro, el importe abonado por la Sociedad Aseguradora se hará en cuenta a nombre del propietario para que se abone a la obra. La cuantía del seguro coincidirá en cada momento con el valor que tengan los objetos que tengan asegurados por Contrata.

El propietario no podrá disponer del reintegro del importe para menesteres distintos del de reconstrucción de la parte siniestrada, en ningún caso. Esta infracción supone la rescisión de la contrata por parte del Contratista con devolución de fianza, abono completo de gastos, materiales acoplados, etc., así como una indemnización correspondiente al importe de los daños causado al Contratista por el siniestro.

En caso de reforma o reparación, se fijará previamente la porción de la instalación que debe ser asegurada y su cuantía y se entenderá que el seguro debe comprender toda la parte del edificio afectado por la obra.

El Contratista debe poner en conocimiento del propietario los riesgos asegurados y las condiciones que figuren en la póliza o pólizas de Seguros antes de contratarlos.

Si el Contratista no tiende a la conservación de la obra durante el plazo de garantía en el caso de que el edificio no haya sido ocupado por el propietario antes de la recepción definitiva, el Ingeniero Técnico Director en representación del propietario procederá a disponer todo lo necesario para que se atiende a la limpieza, etc. para su buena conservación, abonándose todo ello por cuenta de la contrata.



El Contratista debe dejar desocupado y limpio del edificio en caso de abandonarlo y en el plazo que fije el Ingeniero Técnico Director. En todo caso, ocupado o no el edificio, el Contratista está obligado a revisar y repasar la obra durante el plazo fijado procediendo en la forma fija por el presente Pliego de Condiciones Económicas.

Después de la recepción provisional del edificio, en él no deberá haber más herramientas, útiles, materiales, muebles, etc., que los indispensables para su guardería y limpieza en el caso de que la conservación del edificio corra a cargo del Contratista.

Si el Contratista hace uso de edificios, materiales o útiles que pertenecen al propietario, tendrá la obligación de repararlos y conservarlos para entregarlos en perfecto estado al terminar la ejecución de la obra.

CONDICIONES TÉCNICAS

Condiciones que han de cumplir los materiales

Los materiales deberán cumplir una serie de condiciones previamente especificada en los documentos que componen el Proyecto.

Asimismo sus calidades deberán ajustarse a las distintas normas que sobre ellos estén publicados y que tendrán un carácter de complementariedad a este apartado del Pliego, citándose como referencia:

- Normas MV.
- Normas Une.
- Normas DIN.
- Normas ASTM.
- Normas NTE.
- Normas AENOR.
- PIET-70.
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (MOP).



Tendrán preferencia en cuanto a su aceptabilidad, aquellos materiales que estén en posesión de Certificado de Aptitud Técnica, que avalen sus cualidades, emitido por organismos técnicos reconocidos.

Por parte del contratista debe existir obligación de comunicar a los suministradores las cualidades que se exigen para los distintos materiales, aconsejándose que previamente al empleo de los mismos, sea solicitado informe sobre ellos a la dirección facultativa y al organismo encargado del control de calidad.

El contratista será responsable del empleo de materiales que cumplan con las condiciones exigidas. Siendo estas condiciones independientes, con respecto al nivel de control de calidad para la aceptación de los mismos. Aquellos materiales que no cumplan las condiciones exigidas, deberán ser sustituidos, sea cual fuese la fase en que se encontrase la ejecución de la obra, corriendo el constructor con todos los gastos que ello ocasione. En el supuesto de que por circunstancias diversas tal sustitución resultase inconveniente, a juicio de la dirección facultativa, se actuará sobre la devaluación económica del material en cuestión, con el criterio que marque la dirección y sin que el constructor pueda replantear reclamación alguna.

Los materiales en contacto con el agua para consumo humano deberán escogerse de tal forma que no produzcan ninguna sustancia o den cobijo a organismos que puedan ser nocivos para el organismo humano. Asimismo todos los materiales deberán ser químicamente compatibles que eviten su descomposición u oxidación.

Se comprobará, en general, la limpieza y cuidado en el buen acabado de la instalación.

Descripción de la Maquinaria a Instalar

En la Memoria y Presupuesto del presente Proyecto se especifica con todo detalle la maquinaria a instalar.



Condiciones que Deberá Cumplir la Maquinaria

Todas las partes de la maquinaria que deben estar en contacto con los elementos a tratar, serán de material inalterable, con superficie lisa y fácilmente limpiable. De la misma manera, el exterior de la maquinaria deberá estar esmaltado o cubierto de material inalterable y sin ángulos entrantes que impidan una limpieza perfecta.

Los elementos móviles deberán estar provistos de los debidos dispositivos de protección para el manejo del operador.

Los rendimientos de cada máquina se ajustarán a los que se han fijado en el presente Proyecto. Si en condiciones de trabajo normales una máquina, con fuerza de acondicionamiento suficiente y manejada de acuerdo con las instrucciones, no diera el rendimiento garantizado, se comunicará a la casa vendedora para que comunique las deficiencias y haga las modificaciones oportunas.

Si en el plazo de un mes, estas deficiencias no fueran subsanadas, la casa se hará cargo de la maquinaria, puesta, embalada en la estación más próxima a la residencia del cliente, devolviendo el mismo importe que haya pagado, o suministrándole a elección de éste, en sustitución de la maquinaria retirada, otra de rendimiento correcto.

Transporte y Montaje

Serán de cuenta de la casa suministradora, el transporte, embalaje, derechos de aduanas, riesgos, seguros e impuestos hasta que la maquinaria se encuentre en el lugar de su emplazamiento.

El montaje también será por cuenta de la empresa suministradora, si bien el promotor proporcionará las escaleras, instalación eléctrica, herramienta gruesa y material de albañilería, carpintería y cerrajería necesaria para el montaje, así como personal auxiliar para ayudar al especializado que enviará la empresa suministradora.



Plazos de Entrega

El plazo que para la entrega de maquinaria pacte el promotor con el vendedor de la misma, no podrá ser ampliado más que por causa de fuerza mayor, como huelgas, lock-out, movilización del ejército, guerra o revolución. Si el retraso es imputable a la casa vendedora, el promotor tendrá derecho a un 1% de rebaja en el precio por cada semana de retraso como compensación por los perjuicios ocasionados.

Pruebas de Maquinaria

Será por cuenta de la entidad vendedora suministrar los aparatos y útiles precisos para ejecutar las pruebas de las máquinas y verificar las comprobaciones necesarias, siendo de su cuenta los gastos que originen éstas.

Plazo de Garantía

En cada máquina o grupo de máquinas, se establecerá una fecha de prueba con el objeto de poder efectuar la recepción provisional, para el plazo mínimo de garantía de un año, en el cual su funcionamiento ha de ser perfecto, comprometiéndose la empresa suministradora a reponer por su cuenta las piezas que aparezcan deterioradas a causa de una defectuosa construcción o instalación y a subsanar por su cuenta las anomalías o irregularidades de funcionamiento que impidan su uso normal.



Pliego de Condiciones realizado por la Ingeniera Técnica Industrial

Elena Domínguez Hernández

Valladolid, Septiembre de 2012



ESTUDIO DE SEGURIDAD

INTRODUCCIÓN

En el Estudio de Seguridad y Salud en el Trabajo, que corresponde al proyecto técnico denominado "*Tratamiento y gestión de baños ácidos de decapado*" determina las normas con respecto a la previsión de riesgos de accidentes y enfermedades profesionales, quedando plasmadas las medidas preventivas oportunas en las labores de instalación, montaje, reparación, conservación y mantenimiento, de igual forma se establecen los pasos a seguir para la implantación de las instalaciones preceptivas de los servicios sanitarios y comunes durante la construcción de la obra y dependiendo del número de trabajadores que puedan emplearlos.

Por lo tanto se detallarán los procedimientos, equipos técnicos y medios auxiliares que hayan de utilizarse o que se prevea su utilización, identificación de los riesgos laborales que puedan ser evitados, indicando a tal efecto las medidas técnicas necesarias para ello; relación de los riesgos laborales que no puedan eliminarse, conforme a lo señalado anteriormente, especificando las medidas preventivas y las protecciones técnicas tendentes a controlar y reducir dichos riesgos valorando su eficacia, en especial cuando se propongan medidas alternativas.

De esta manera, el presente Estudio de Seguridad y Salud en el Trabajo establece las disposiciones mínimas de seguridad y de salud aplicables a la explotación del proceso de tratamiento de baños ácidos de decapado, según el Real Decreto 1627/1997.

Cualquier organización tiene el deber moral de salvaguardar la salud y el bienestar de sus trabajadores y del público en general. La aplicación de buenas prácticas no solo proporciona una operación segura sino una operación eficiente.



Todos los procesos de fabricación son de alguna manera peligrosos, pero en los procesos químicos existen peligros especiales, adicionales asociados con los productos empleados y las condiciones de operación.

La seguridad y prevención de riesgos en el proceso de diseño deben tenerse en cuenta y se pueden agrupar bajo los siguientes aspectos:

1. Identificación de los riesgos
2. Control de riesgos
3. Control del proceso (evitando en la medida de lo posible desviaciones en las variables de proceso mediante los correspondientes sistemas de control)
4. Minimización de daños: en caso de accidente o fuga, evitar que el problema se extienda a otros equipos.

Así mismo se establecerán las disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción:

- Se deberá de formar a todo el personal que trabaje en la obra sobre las medidas de seguridad contenidas en el presente estudio.
- La seguridad, se basa en dos órdenes de medidas preventivas: las que se refieren al puesto de trabajo y las propias del trabajador.
- Por principio, siempre que sea posible, se anulará el riesgo en su propio origen lo cual, por razones técnicas, no siempre es factible. En estos casos se buscarán soluciones organizativas o medidas de protección colectiva, y finalmente, se facilitarán equipos de protección individual.
- Cada empleado debe poseer la dotación de ropa de trabajo y elementos de protección establecidos para las tareas propias de



su condición laboral. Corresponde al mando directo dotar a todos los empleados a sus órdenes de la ropa de trabajo y elementos de prevención, comprobar su buen estado de uso, cuidar de que se atienda a su conservación y reposición cuando proceda así como exigir su utilización en las tareas que lo precisen.

El 12 de diciembre de 2003 se publicó la Ley 54/2003 de reforma de marco normativo de la prevención de riesgos laborales. El capítulo II de esta ley incluye la reforma de la Ley de Infracciones y Sanciones en el Orden Social, aprobada por el Real Decreto Legislativo 5/2000 de 4 de agosto, precisando los tipos de las infracciones en el ámbito de aplicación del Real Decreto 1627/1997, según el artículo décimo de la ley relativo a las infracciones graves en materia de prevención de riesgos laborales, estableciendo los siguientes apartados como faltas graves:

- Incumplir la obligación de elaboración el plan de seguridad y salud en el trabajo con el alcance y contenido establecidos en la normativa de prevención de riesgos laborales, en particular por carecer de un contenido real y adecuado a los riesgos específicos para la seguridad y la salud de los trabajadores de la obra y por no adaptarse a las características particulares de las actividades o los procedimientos desarrollados o del entorno de los puestos de trabajo.
- Incumplir la obligación de realizar el seguimiento del plan de seguridad y salud en el trabajo, con el alcance y contenido establecidos en la normativa de prevención de riesgos laborales.
- No designar los coordinadores en materia de seguridad y salud cuando ello sea preceptivo.
- Incumplir la obligación de que se elabore el estudio o en su caso, el estudio básico de seguridad y salud, cuando ello sea preceptivo, con el alcance y contenido establecidos en la



normativa de prevención de riesgos laborales, o cuando tales estudios presenten deficiencias o carencias significativas y graves en relación con la seguridad y salud en la obra.

- No adoptar las medidas necesarias para garantizar, en la forma y con el alcance y contenido previstos en la normativa de prevención, que los empresarios que desarrollan actividades en la obra reciban la información y las instrucciones adecuadas sobre riesgos y las medidas de protección, prevención y emergencia.
- No cumplir los coordinadores en la materia de seguridad y salud las obligaciones establecidas en el artículo 9 del Real Decreto 1627/1997 como consecuencia de su falta de presencia, dedicación o actividad en la obra.
- No cumplir los coordinadores en materia de seguridad y salud las obligaciones, distintas de las citadas en los párrafos anteriores, establecidas en la normativa de prevención de riesgos laborales cuando tales incumplimientos tengan o puedan tener repercusión grave en relación con la seguridad y salud en la obra.

Para todo ello serán de aplicación, además del anteriormente señalado Real Decreto 1627/97 de 24 de Octubre, las siguientes disposiciones:

En primer lugar, el Real Decreto tiene presente que en las obras de construcción intervienen *sujetos no habituales en otros ámbitos* que han sido regulados con anterioridad. Así, la norma se ocupa de las obligaciones del promotor, del projectista, del contratista y subcontratista (sujetos estos dos últimos que son los empresarios en las obras de construcción) y de los trabajadores autónomos, muy habituales en las obras. Además, y como consecuencia de lo dispuesto en la Directiva que se transpone, se introducen las figuras del coordinador en materia de seguridad y salud durante la elaboración del proyecto de obra y del coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra.



En segundo lugar, el Real Decreto tiene en cuenta aquellos aspectos que se han revelado de utilidad para la seguridad en las obras y que están presentes en el Real Decreto 555/1986 de 21 de febrero, por el que estableció la obligatoriedad de inclusión de un Estudio de Seguridad e Higiene en los proyectos de edificación y obras públicas, modificado por el Real Decreto 84/1990 de 19 de enero, norma aquella que en cierta manera inspiró el contenido de la Directiva 92/57/CEE. A diferencia de la normativa anterior, el presente Real Decreto incluye en su ámbito de aplicación a cualquier obra, pública o privada, en la que se realicen trabajos de construcción o ingeniería civil.

Por último, el Real Decreto establece mecanismos específicos para la aplicación de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y del Real Decreto 39/1997 de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Servicios de Prevención, en un sector de la actividad tan peculiar como es el relativo a las obras de construcción.

De conformidad con el artículo 6 de la Ley 31/1995 de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, a propuesta conjunta de los Ministerios de Trabajo y Asuntos Sociales, de Fomento, de Medio Ambiente y de Industria y Energía, consultadas las organizaciones empresariales y sindicales más representativas, oída la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, de acuerdo con el Consejo de Estado y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión el día 24 de octubre de 1997, se emitió este Real Decreto.

CLASIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE RIESGOS LABORALES

En este apartado se identificarán y clasificarán los factores de riesgo, tanto de accidentes de trabajo como de enfermedades profesionales, para posteriormente evaluarlos. De esta forma serán útiles para la realización de una planificación de las acciones preventivas necesarias para su corrección.



Tras el análisis de las características de la instalación y del personal expuesto a los riesgos se han determinado los riesgos que afectan al conjunto de la obra, a los trabajadores de una sección o zona de la obra y a los de un puesto de trabajo determinado.

Datos de seguridad de las principales sustancias implicadas en el proceso

En este apartado se exponen los principales riesgos de las sustancias implicadas en el proceso.

Ácido Clorhídrico

La disolución acuosa grado reactivo contiene aproximadamente 38 % de HCl. Es utilizado en la refinación de minerales, en la extracción de estaño y tántalo, para limpiar metales, como reactivo químico, en la hidrólisis de almidón y proteínas para obtener otros productos alimenticios y como catalizador y disolvente en síntesis orgánica. Sus vapores son irritantes a los ojos y membranas mucosas. Es soluble en agua, desprendiéndose calor. Es corrosivo de metales y tejidos. Para su obtención se tienen diferentes procesos industriales, entre los cuales se encuentran: la reacción entre cloruro de sodio o potasio con ácido sulfúrico; la reacción de bisulfuro de sodio con cloruro de sodio, conocido como proceso Meyer; el proceso Hargreaves, en el cual se usa óxido de azufre, sal y vapor.

Se ha informado de reacciones violentas entre este ácido y los siguientes compuestos:

-permanganato de potasio o sodio y en contacto con tetranitruro de tetraselenio.

-1,1-difluoroetileno.



-Aleaciones de aluminio-titanio.

-ácido sulfurico.

MANEJO

Equipo de protección personal

Para su manejo es necesario utilizar lentes de seguridad y, si es necesario, guantes de neopreno, viton o hule butílico, nunca de PVA o polietileno en lugares bien ventilados. No deben usarse lentes de contacto cuando se utilice este producto. Al trasvasar pequeñas cantidades con pipeta, siempre utilizar propipetas, nunca aspirar con la boca. Si se manejan cantidades grandes de este producto, es necesario utilizar un equipo de respiración autónoma sin partes de aluminio.

RIESGOS

Riesgos de fuego y explosión

No es inflamable. Se produce gas inflamable cuando se encuentra en contacto con metales. Se generan vapores tóxicos e irritantes de cloruro de hidrógeno cuando se calienta.

Riesgos a la salud

El ácido clorhídrico y concentraciones altas de gas, son altamente corrosivos a la piel y membranas mucosas.

Inhalación: En el caso de exposiciones agudas, los mayores efectos se limitan al tracto respiratorio superior. El gas causa dificultad para respirar, tos e inflamación y ulceración de nariz, tráquea y laringe. Exposiciones severas causan espasmo de la laringe y edema en los pulmones y cuerdas vocales. Una exposición prolongada y repetida puede causar decoloración y corrosión



dental. En algunos casos, se han presentado problemas de gastritis y bronquitis crónica. En humanos, la exposición a una concentración de 50 a 100 ppm por una hora fue muy poco tolerada; de 35 ppm por un momento, causó irritación de la tráquea y de 10 ppm fue tolerada. Por otra parte, estudios con animales han demostrado que una exposición a concentraciones altas del gas provoca daños en los vasos sanguíneos, colapso de los pulmones y lesiones en hígado y otros órganos. Las exposiciones constantes a bajas concentraciones del gas no tienen efectos inmediatos y no producen cambios morfológicos.

Contacto con los ojos: Este ácido es un irritante severo de los ojos y su contacto con ellos puede causar quemaduras, reducir la visión o, incluso, la pérdida total de ésta.

Contacto con la piel: En forma de vapor o disoluciones concentradas causa quemaduras serias, dermatitis y fotosensibilización. Las quemaduras pueden dejar cicatrices, que incluso pueden desfigurar las regiones que han sido dañadas.

Ingestión: Produce corrosión de las membranas mucosas de la boca, esófago y estómago. Los síntomas que se presentan son: disfagia, náuseas, vómito, sed intensa y diarrea. Puede presentarse, incluso, colapso respiratorio y muerte por necrosis del esófago y estómago.

Ácido Sulfúrico

Además de atacar muchos metales, el ácido sulfúrico concentrado es fuerte agente oxidante y puede dar lugar a la ignición (inicio de explosión) al entrar en contacto con materia orgánica y compuestos tales como nitratos, carburos, cloratos, etc. También reacciona de forma exotérmica con el agua; tiene mayor desprendimiento de calor cuando la proporción es de dos moléculas gramo de agua por molécula gramo de ácido sulfúrico, alcanzando una temperatura de 158°C (316°F). Presenta una gran afinidad por el agua, debido a lo cual,



produce deshidratación de los compuestos orgánicos a veces tan fuerte que llega a carbonizarlos.

El ácido sulfúrico puede contener ciertas cantidades de anhídrido sulfúrico libre y en estas condiciones se conoce como óleum, el cual presenta un aspecto nebuloso; sus vapores son irritantes, de color penetrante y tóxicos.

MANEJO

Los locales de operación y almacenamiento se mantendrán adecuadamente ventilados manteniendo los VLA por debajo de los límites establecidos.

No fumar, ni comer, ni beber cuando se maneje el producto.

Antes de manipular el producto asegurarse de que el recipiente a utilizar está limpio y es el adecuado.

No retornar producto al tanque de almacenamiento u otros envases. Las muestras se manejarán en envases adecuados. Precaución especial por si hubiese restos de productos como cloritos, cloratos, cianuros, hipoclorito, álcalis, sulfuros o agua.

Evitar el contacto con metales en polvo, materia orgánica y reductores. No verter nunca agua sobre ácido. La dilución se hará vertiendo lentamente ácido sobre agua y agitando.

Utilizar siempre las prendas de protección recomendadas.

RIESGOS

Riesgos de fuego y explosión

El producto no es inflamable, ni explosivo, por efecto del calor a temperaturas superiores a 30°C pueden producirse gas de óxido de azufre y vapores de ácido sulfúrico. Los recipientes cerrados pueden reventar por la formación de gas. Enfriar rociando con agua los recipientes y/o almacenes pero nunca en



contacto directo el producto con el agua. Es conveniente formar cortinas de agua para absorber gases y humos y para refrigerar los equipos, recipientes, contenedores etc., sometidos al fuego e incluso transcurrido un tiempo después de apagar el fuego.

Riesgos para la salud

El ácido sulfúrico es corrosivo para todos los tejidos del cuerpo. La cantidad fatal para un adulto varía entre una cucharadita de té y seis gramos del ácido concentrado. Aun pocas gotas pueden ser fatales si el ácido alcanza la tráquea. Puede haber perforación gástrica y peritonitis. Las que pueden ser seguidas por colapso circulatorio. Es común que la causa inmediata de la muerte sea el shock circulatorio.

Inhalación: La inhalación de los vapores puede causar daño pulmonar grave. Se debe llevar a la víctima en forma urgente al aire libre. Si existen los medios administrarle oxígeno. Conseguir atención médica inmediata.

Contactos con los ojos: El contacto del ácido sulfúrico con los ojos puede resultar en la pérdida total de la visión. Se deben irrigar los ojos con abundante agua corriente, por lo menos durante quince minutos. Los párpados deben mantenerse abiertos durante la irrigación, para asegurar el contacto del agua con los tejidos de la región. Si después de la irrigación continúan las molestias, se necesitará una segunda irrigación por otros quince minutos. También se podrá aplicar dos a tres gotas de un anestésico líquido protegiendo los ojos después con un parche. No se debe aplicar aceites ni ungüentos oleosos. Conseguir atención médica inmediata.

Contacto con la piel: El contacto con la piel puede causar necrosis (gangrena) grave de los tejidos. Las personas que hayan tenido contacto con el ácido sulfúrico deberán lavar las partes afectadas con abundante agua corriente y retirar las ropas lo más rápido posible. Como complemento puede usarse jabón para lavar las partes afectadas. Conseguir atención médica inmediata.



Ingestión: El contacto del ácido sulfúrico con los órganos internos del cuerpo corroe las membranas mucosas de la boca, garganta y esófago, con dolor agudo y dificultad para tragar. Puede haber también hemorragia gástrica y vómitos. Si accidentalmente la persona llega a ingerir ácido sulfúrico debe administrársele abundante agua o leche, con el objeto de reducir la concentración, y una vez hecho ésto puede dársele a tomar leche de magnesia o agua de cal para neutralizar el ácido. No debe provocársele el vómito. Conseguir atención médica inmediata.

Ácido Nítrico

Se utiliza en la síntesis de otros productos químicos como colorantes, fertilizantes, fibras, plásticos y explosivos, entre otros. Es soluble en agua, generándose calor. No es combustible, pero puede acelerar el quemado de materiales combustibles y causar ignición. Es corrosivo de metales y tejidos. Si además, contiene NO₂ disuelto, entonces se conoce como ácido nítrico fumante y su color es café-rojizo. Actualmente, se obtiene por oxidación catalítica de amoníaco.

El ácido nítrico se descompone con cierta facilidad, generando óxidos de nitrógeno. Reacciona con álcalis, óxidos y sustancias básicas, generando sales. Es un oxidante fuerte, dependiendo de su concentración.

Se ha informado de reacciones violentas entre el ácido nítrico y:

-Acido y anhídrido acético, acetona, acetonitrilo y alcoholes, por lo que no se recomienda para limpiar material de laboratorio.

-2-aminotiazol, amoníaco, aminas aromáticas, derivados de benzo[b]tiofeno, pentafluoruro de bromo, butanetioli, celulosa, nitruro de cobre, crotonaldehido, ciclohexilamina, fluor, hidracina, hidrocarburos en general, yoduro de hidrógeno, peróxido de hidrógeno, resinas de intercambio iónico, óxido de hierro(II), ácido láctico mas fluoruro de hidrógeno, acetiluros metálicos, salicilatos metálicos, 4- metil-ciclohexanona, nitrobenceno, nitrometano, hidruros no metálicos, no metales, fenilacetileno, derivados de fosfina, haluros



de fósforo, anhídrido ftálico más ácido sulfúrico, polialquenos, dióxido de azufre, haluros de azufre, tioaldehidos, tiocetonas, tiofeno, triazinas, 2,4,6-trimetiltrioxano, trementina, madera y otros productos celulósicos, especialmente si están finamente divididos.

Ataca a la mayoría de los metales, excepto platino y oro y, en el caso de aluminio y cromo, los pasiva, presentando un ataque muy leve. Algunos son convertidos a óxidos, como en el caso de arsénico, antimonio y estaño; otros son convertidos a nitratos.

Es capaz de oxidar a elementos en estado de bajo número de oxidación hasta su más alto valor, como en el caso de óxidos, sulfuros, etc.

MANEJO

Equipo de protección personal

Para su manejo debe utilizarse bata y lentes de seguridad y, si es necesario, delantal y guantes de neopreno o Viton (no usar hule natural, nitrilo, PVA o polietileno). No deben usarse lentes de contacto cuando se utilice este producto. Al trasvasar pequeñas cantidades con pipeta, siempre utilizar propipetas, nunca aspirar con la boca.

RIESGOS

Riesgos de fuego y explosión:

Puede generar óxidos de nitrógeno, muy tóxicos, cuando se calienta. Por ser un fuerte oxidante, su contacto con material combustible, hace que se incremente el riesgo de fuego o incluso explosión. Es no combustible, pero es peligrosamente reactivo con muchos materiales. Reacciona explosivamente con polvos metálicos, carburos, sulfuro de hidrógeno, alcohol y carbón. Incrementa la inflamabilidad de combustibles orgánicos y materiales oxidados,



pudiendo causar su ignición. Con agua y vapor, genera calor y humos corrosivos y venenosos. Con agentes reductores poderosos, explota.

En general, evite humedad, calor y el contacto con los compuestos mencionados en las propiedades químicas.

Riesgos a la salud:

Este producto es principalmente irritante y causa quemaduras y ulceración de todos los tejidos con los que está en contacto. La extensión del daño, los signos y síntomas de envenenamiento y el tratamiento requerido, dependen de la concentración del ácido, el tiempo de exposición y la susceptibilidad del individuo.

La dosis letal mínima es aproximadamente de 5 ml (concentrado) para una persona de 75 Kg. Las personas con problemas en piel, ojos y cardiopulmonares tienen gran riesgo al trabajar con este producto.

Inhalación: Una inhalación aguda de este producto produce estornudos, ronquera, laringitis, problemas para respirar, irritación del tracto respiratorio y dolor del tórax. En casos extremos se presenta sangrado de nariz, ulceración de las mucosas de nariz y boca, edema pulmonar, bronquitis crónica y neumonía. Signos severos de intoxicación se presentan de 5 a 48 h después de la exposición, habiendo respirado como mínimo 25 ppm en un periodo de 8h. Se han informado, incluso, de muertes inmediatamente después de una exposición seria a vapores de NO₂.

También causa erosión de los dientes bajo periodos prolongados de exposición.

Contacto con los ojos: Produce irritación, dolor, lagrimeo, erosión de la córnea e incluso, ceguera.

Contacto con la piel: Para la piel, es peligroso tanto líquido, como en forma de vapor. Causa quemaduras severas, la piel adquiere un color amarillo y se presenta dolor y dermatitis.



Ingestión: Este ácido es muy corrosivo y puede destruir los tejidos gastrointestinales. Los principales síntomas de una intoxicación por ingestión de este ácido son: salivación, sed intensa, dificultad para tragar, dolor y shock. Se producen quemaduras en boca, esófago y estómago, hay dolor estomacal y debilitamiento. En caso de vómito, éste generalmente es café. Si la cantidad ingerida es grande puede presentarse un colapso circulatorio.

Lechada de Cal

Riesgos de fuego y explosión

Inflamabilidad: ninguna

SECCIÓN V.- RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSIÓN				
1.- MEDIO DE EXTINCIÓN: No se enciende usar el mas adecuado, para los incendios circundantes.				
NIEBLA DE AGUA (para fuegos grandes)	ESPUMA	HALON:	CO2	POLVO QUÍMICO SECO
2.- EQUIPO ESPECIAL DE PROTECCIÓN (GENERAL) PARA COMBATE DE INCENDIO: Mascarilla con suministro de oxigeno y ropa protectora para prevenir contacto con la piel y ojos.				
3.- PROCEDIMIENTO ESPECIAL DE COMBATE DE INCENDIO: No combatir con chorro de agua directamente, no introducir agua a los contenedores usar agua en forma de rocío para enfriar los contenedores.				
4.- CONDICIONES QUE CONDUCEN A UN PELIGRO DE FUEGO Y EXPLOSIÓN NO USUALES: Ninguno reportado				
5.- PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN: Ninguno				

Reactividad: ligera

SECCIÓN VI.- DATOS DE REACTIVIDAD		
1.- SUSTANCIA		2.- CONDICIONES A EVITAR
ESTABLE Si	INESTABLE	Acidos y Alcalinos fuertes
3.- INCOMPATIBILIDAD (SUSTANCIAS A EVITAR): Acidos, Materiales fuertemente Alcalinos, Fósforo, Nitropropano, Nitroparafina, Nitrometano Nitroetano, y Anhídrido Maleico		
4.- DESCOMPOSICIÓN DE COMPONENTES PELIGROSOS: Humos Cáusticos de Oxidos de calcio		
5.- POLIMERIZACIÓN PELIGROSA:		6.- CONDICIONES A EVITAR:
PUEDE OCURRIR	NO PUEDE OCURRIR ✓	No se dispone de información



Riesgos para la salud

Al contacto directo con la piel en algunos casos puede causar ciertas molestias como quemaduras muy leves, en los ojos puede causar enrojecimiento y al inhalarla puede causar problemas respiratorios leves.

En la siguiente tabla resumen se recogen los principales riesgos para la salud:

SECCIÓN VII.- RIESGOS PARA LA SALUD		
VÍAS DE ENTRADA	SÍNTOMAS DEL LESIONADO	PRIMEROS AUXILIOS
1.- INGESTIÓN ACCIDENTAL	Provoca trastornos gastrointestinales: Vomito, Diarrea, Contracciones estomacales y Colapso.	De a beber inmediatamente agua, o leche si las molestias persisten Solicitar atención medica. Nunca de nada por la boca a una persona inconsciente
2.- CONTACTO CON LOS OJOS	Es corrosivo, Produce severas irritaciones Puede inducir ulceraciones de la cornea.	Lavar suavemente con agua corriente durante 15 min abriendo ocasionalmente los párpados. Solicitar atención medica de inmediato.
3.- CONTACTO CON LA PIEL	Corrosivo puede causar quemaduras si se esta mucho tiempo en contacto.	Lavar con agua corriente durante 15 min. al mismo tiempo quitarse la ropa contaminada y calzado. Solicite atención medica
4.- ABSORCIÓN	No identificado	No se dispone de mformación
5.- INHALACIÓN	Iritación en las vías tractorespiratorias	Traslade a un lugar con ventilación adecuada, Si respira con dificultad suministrar oxigeno. Solicite atención medica.
6.- SUSTANCIA QUÍMICA CONSIDERADA COMO CANCERÍGENA: STPS (INST. No.10) SI _____ NO <input checked="" type="checkbox"/> OTROS _____ SI _____ NO _____ ESPECIFICAR		

Análisis de riesgos

Para poder decidir sobre si un riesgo es o no aceptable se requiere estimar cuantitativamente su magnitud mediante el análisis de riesgos. El análisis de riesgos estima cuantitativamente el nivel de peligro potencial de una actividad, referido tanto a personas como a los bienes materiales y medio ambiente, a la magnitud del daño y a la probabilidad de que tenga lugar.

Los resultados del análisis de riesgos se utilizan para la toma de decisiones.

Los principales **objetivos** del análisis de riesgos son:

- Estimar las consecuencias por accidentes potenciales.



- Evaluar la verosimilitud de los escenarios.
- Justificar decisiones en materia de seguridad.
- Evaluar la eficacia de las acciones de reducción de riesgos.
- Establecer una jerarquía de riesgos.

La identificación y caracterización de riesgos se debe realizar durante toda la vida de la instalación, pero en especial durante el diseño y construcción de la misma.

El análisis de riesgos presenta las siguientes **etapas**:

- Identificación de riesgos.
- Análisis de consecuencias.
- Cuantificación del riesgo.
- Toma de decisiones.
- Reducción del riesgo.

En la etapa de identificación de riesgos se analizan todas las circunstancias que pueden dar origen a accidentes. La respuesta es cualitativa y sólo identifica los posibles riesgos. Para identificar los riesgos debe acudirse al sentido común ingenieril y a la experiencia.

Se requiere conocer cuáles son las secuencias de acontecimientos por los que el accidente puede tener lugar para actuar sobre ellos. El primer suceso de la cadena se denomina “**suceso iniciador**” y el resto “**circunstancias del accidente**”.

Existen diferentes métodos de identificación de riesgos:

- **Métodos comparativos**: están basados en la experiencia previa adquirida. Se distinguen:
 - Códigos de diseño y buenas prácticas (manuales técnicos internos).



- Listas de comprobación (checklists).
- Análisis históricos de accidentes.
- **Índices de riesgo:** no suelen identificar peligros concretos pero determinan las áreas de mayor concentración de riesgo. Se utilizan dos índices:
 - Índice de Dow.
 - Índice de Dow-Mond.
- **Métodos generalizados:** esquemas de razonamiento aplicables a cualquier situación. Existen varios métodos:
 - Análisis general de desviaciones.
 - HAZOP: análisis de riesgo y operabilidad.
 - FMEA: análisis de modos de fallo y sus efectos.
 - FTA: análisis de árbol de fallos.
 - ETA: análisis de árbol de sucesos.
 - Análisis WHAT IF.

Índices de riesgo

Los índices de riesgo, como el índice de Dow, proporcionan un método directo y relativamente simple de estimar el riesgo global asociado con una unidad de proceso (no de un equipo individual), así como de jerarquizar las unidades en cuanto a su nivel general de riesgo.

No son, por lo tanto, sistemas que se utilicen para señalar riesgos individuales, sino que proporcionan un valor numérico que permite identificar áreas en las que el riesgo potencial alcanza un nivel determinado. Sobre estas áreas puede, en caso necesario, aplicarse un análisis de riesgo más detallado, por lo que el



valor obtenido para el índice de riesgo puede ser de utilidad a la hora de decidir la profundidad del estudio.

El índice Dow, de incendio y explosión, se utiliza ampliamente en la industria química. Tiene en cuenta aspectos relacionados con los riesgos intrínsecos del material manejado, las cantidades utilizadas, condiciones de operación, etc.

Estos factores son contabilizados sucesivamente para obtener una estimación del valor del índice, del área que puede verse afectada por un accidente, el daño a la propiedad dentro de la misma y los días de operación perdidos por causa del accidente.

A continuación se exponen los resultados obtenidos en los análisis de riesgos realizados mediante el Índice Dow de fuego y explosión (FEI).

Índice Dow de fuego y explosión

Se evalúa el índice Dow para el proceso de neutralización descrito en el presente proyecto.

En primer lugar, se deben identificar las distintas “Unidades de Proceso” que se considere contribuyan al riesgo de incendio o explosión.

En este proyecto, se van a distinguir tres Unidades de Proceso, considerando estas como las áreas donde pueda existir cierto riesgo de incendio o explosión.

Estas áreas no se encuentran físicamente separadas, pero si diferenciadas.

Las Unidades de Proceso elegidas son:

- Unidad de almacenamiento: comprende aquella área al inicio del proceso en la que se almacenan los baños agotados de decapado que llegan para ser procesados y la cal viva necesaria para el proceso.
- Unidad de Lechada: área que abarca el proceso de apagado de cal viva y posterior almacenamiento de la lechada de cal producida.



- Unidad de neutralización: comprende el área de operación de los tres reactores de neutralización, donde tiene lugar el proceso principal y los tres filtros prensa utilizados para la separación de los componentes.
- Unidad de evaporación: dentro de esta unidad se incluye la parte del proceso en el que se procede a concentrar el cloruro cálcico obtenido mediante un evaporador, así como la fase final de almacenamiento del producto terminado.

Para obtener el Índice de Dow se siguen los siguientes pasos:

- Determinación del factor material (MF)

Es un número comprendido entre 1 y 40 que se asigna a la sustancia que se procesa en la unidad, cuantificando la energía que puede liberar en un incendio o explosión.

- Determinación de los factores de riesgo con concurrentes

Éstos pueden ser de **dos tipos**:

- **Riesgos generales**, como la presencia de reacciones exotérmicas o la realización de operaciones como la carga y descarga.
- **Riesgos especiales** de proceso, como la operación cerca del intervalo de inflamabilidad o a presiones distintas de la atmosférica.

La contabilización de los factores de riesgo concurrentes en el proceso se realiza asignando una penalización en cada uno de los apartados. Esto permite definir los factores de riesgos generales F1 y de riesgos específicos F2.

$$F1 = 1 + \sum (\text{penalización de los riesgos generales})$$

$$F2 = 1 + \sum (\text{penalización de los riesgos especiales})$$



Riesgos generales de proceso

- A: Reacciones químicas exotérmicas (factor de 0.3 a 1.25)
- B: Procesos endotérmicos (Factor 0.20 a 0.40)
- C: Manejo y conducción de productos (Factor de 0.25 a 1.05)
- D: Unidades encerradas o cubiertas (Factor 0.25 a 0.90)
- E: Accesos (Factor 0.35)
- F: Drenajes y control de derrames (Factor de 0.25 a 0.50)

Riesgos especiales de proceso

- A: Temperatura del proceso (Factor de 0.3 a 0.75)
- B: Presión sub-atmosférica (Factor 0.5)
- C: Operación cerca o dentro de límites de inflamabilidad (Factor de 0,3 a 0,8)
- D: Explosión de polvo (Factor de 0.25 a 2)
- E: Presión de alivio (Factor de 0.7 a 1.3)
- F: Baja temperatura (Factor de 0.2 a 0.30)
- G: Cantidad de producto inflamable o inestable
- H: corrosión y erosión (Factor de 0.10 a 0.75)
- I: Fugas, juntas y cierres (Factor 0.10 a 0.75)
- J: Uso de calentadores con llama
- K: Sistemas de intercambio con aceite caliente (Factor de 0.15 a 1.15)
- L: Equipos en rotación: bombas, compresores



- Determinación de los factores de riesgo de la unidad (F3)

$$F3 = F1 \times F2$$

Está comprendido entre 1 y 8.

- Determinación del índice de Fuego y Explosión (FEI)

$$FEI = F3 \times MF$$

Está comprendido entre 1 y 320, aunque sólo se toma hasta 200.

Por encima de 159 se considera riesgo grave:

FEI	RIESGO
1 – 60	Ligero
61 – 96	Moderado
97 – 127	Intermedio
128 - 158	Importante

Clasificación de los factores de riesgo de la unidad.

- Determinación del área de exposición

Se trata de un círculo ideal donde estaría ubicados los equipos e instalaciones que pueden ser afectados por un incendio o explosión. Proporciona una medida aproximada del radio de alcance del accidente.

El radio del círculo ideal se calcula con la siguiente fórmula:

$$R (m) = 0,256 \times FEI$$

Por lo tanto, el área de exposición será:

$$A (m^2) = \pi \cdot R^2 = \pi \cdot (0,256 \cdot FEI)^2$$



Determinación del índice de fuego y explosión para cada unidad

Los datos necesarios para realizar los anteriores cálculos se obtienen de la “Guía para la clasificación de riesgos”.

- Unidad De Almacenamiento

La sustancia almacenada en esta unidad son los baños agotados de decapado y la cal viva adquirida. Los baños agotados suponen el mayor riesgo de esta unidad ya que su componente principal de todos ellos es el ácido no agotado en el decapado. Aunque se tome como factor material los ácidos estos se encuentran en una mezcla muy compleja de distintos componentes y hay que tener en cuenta que gran parte se ha utilizado para el decapado, por lo que se toma un valor ligeramente inferior a el factor material de ácidos. Sin embargo, se tendrá en cuenta la presencia de otras sustancias a la hora de establecer penalizaciones.

MF ácidos = 20

Factor de riesgos generales del proceso

$$F1 = 1 + 0,35(C) + 0,30(F) = 2,05$$

Factores de riesgos especiales del proceso

$$F2 = 1 + 0,35(H) + 0,10(I) = 1,45$$

Factor de riesgo de la unidad, F3 = 2,97

Índice de fuego y explosión = **59,40**

Radio de exposición = 15,21m

Área de exposición = 726,44 m²



Observando el resultado obtenido para el Índice de Fuego y Explosión, se puede decir que la unidad de almacenamiento presenta un riesgo ligero, encontrándose en la frontera con el riesgo moderado.

- Unidad De Lechada:

En esta unidad se procede a la mezcla de la cal viva con agua para su apagado y posterior dilución, por ello se ha considerado como factor material el sólido (cal viva) por ser el componente mayoritario. En este caso una parte importante a tener en cuenta es que la reacción producida es exotérmica. Al igual que en la unidad anterior, se tendrá en cuenta la presencia de otras sustancias a la hora de establecer penalizaciones.

MF sólido = 14

Factor de riesgos generales del proceso

$$F1 = 1 + 0,80(A) + 0,25(C) + 0,25(D) = 2,30$$

Factores de riesgos especiales del proceso

$$F2 = 1 + 0,35(A) + 0,10(I) = 1,45$$

Factor de riesgo de la unidad, $F3 = 3,34$

Índice de fuego y explosión = **46,69**

Radio de exposición = 11,95m

Área de exposición = 448,83 m²

Observando el resultado obtenido para el Índice de Fuego y Explosión, se puede decir que la unidad de almacenamiento presenta un riesgo ligero, siendo el único posible riesgo el aumento de la temperatura durante la reacción.



- Unidad De Neutralización

Las sustancias implicadas en la unidad de neutralización y filtración son los baños ácidos agotados, la lechada preparada anteriormente y el producto final (baños neutralizados). En este caso se va a seguir el mismo criterio que en la unidad de almacenamiento: se tomará el factor material del ácido al ser este el componente más problemático. Al igual que en la unidad anterior, se tendrá en cuenta la presencia de otras sustancias a la hora de establecer penalizaciones.

MF ácidos = 20

Factor de riesgos generales del proceso

$$F1 = 1 + 0,50(C) + 0,25(D) + 0,25(F) = 2,00$$

Factores de riesgos especiales del proceso

$$F2 = 1 + 0,50(B) + 0,70(E) + 0,10(H) = 2,30$$

Factor de riesgo de la unidad, F3 = 4,60

Índice de fuego y explosión = **92**

Radio de exposición = 23,55m

Área de exposición = 1742,63 m²

Observando el resultado obtenido para el Índice de Fuego y Explosión, se puede decir que la unidad de almacenamiento presenta un riesgo moderado.

- Unidad De Evaporación

En esta unidad la única sustancia implicada es la solución de cloruro cálcico obtenida a partir de la filtración del baño neutralizado de ácido clorhídrico. Esta solución se encuentra tan diluida que para realizar este estudio de riesgos se tomará como factor material el valor correspondiente al agua, debido a que es el componente mayoritario. Al igual que en la unidad anterior, se tendrá en cuenta la presencia de otras sustancias a la hora de establecer penalizaciones.



MF agua = 4

Factor de riesgos generales del proceso

$$F1 = 1 + 0,50(A) + 0,25(C) + 0,25(D) = 2,00$$

Factores de riesgos especiales del proceso

$$F2 = 1 + 0,50(A) + 0,50(B) + 0,70(E) + (J) = 2,70$$

Factor de riesgo de la unidad, F3 = 5,40

Índice de fuego y explosión = **21,60**

Radio de exposición = 5,53m

Área de exposición = 96,06 m²

Observando el resultado obtenido para el Índice de Fuego y Explosión, se puede decir que la unidad de almacenamiento presenta un riesgo ligero. Siendo el mayor riesgo las temperaturas alcanzadas en el evaporador.

Conclusiones finales

Finalmente, observando de forma global los resultados obtenidos para las tres unidades de proceso que forman el proceso de gestión de baños de decapado, se puede decir que la unidad que mayor riesgo presenta es la que engloba el proceso de neutralización y filtración de los baños agotados. Esto se debe, entre otras razones, a que en esta zona se trabaja a presiones muy bajas (vacío) en los filtros y, las sustancias que se neutralizan, son ácidos ligeramente inflamables.



OTRAS CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

Protecciones colectivas

Señalización

El Real Decreto 485/1997, de 14 abril por el que se establecen las disposiciones mínimas de carácter general relativas a la señalización de seguridad y salud en el trabajo, indica que deberá utilizarse una señalización a fin de:

- A) Llamar la atención de los trabajadores sobre la existencia de determinados riesgos, prohibiciones u obligaciones.
- B) Alertar a los trabajadores cuando se produzca una determinada situación de emergencia que requiera medidas urgentes de protección o evacuación.
- C) Facilitar a los trabajadores la localización e identificación de determinados medios o instalaciones de protección, evacuación, emergencia o primeros auxilios.
- D) Orientar o guiar a los trabajadores que realicen determinadas maniobras peligrosas.

- Tipos de señales

En forma de panel:

- *Señales de advertencia*

Forma: Triangular

Color de fondo: Amarillo

Color de contraste: Negro

Color de símbolo: Negro



- *Señales de prohibición*

Forma: Redonda

Color de fondo: Blanco

Color de contraste: Rojo

Color de símbolo: Negro

- *Señales de obligación*

Forma: Redonda

Color de fondo: Azul

Color de símbolo: Blanco

- *Señales relativas a los equipos de lucha contra incendios*

Forma: Rectangular o cuadrada

Color de fondo: Rojo

Color de símbolo: Blanco

- *Señales de salvamento o socorro*

Forma: Rectangular o cuadrada

Color de fondo: Verde

Color de símbolo: Blanco

o Cinta de señalización:

En caso de señalar obstáculos, zonas de caída de objetos, caída de personas a distinto nivel, choques, golpes, etc., se señalará con los antes dichos



paneles o bien se delimitará la zona de exposición al riesgo con cintas de tela o materiales plásticos con franjas alternadas oblicuas en color amarillo y negro, inclinadas 45°.

- o Cinta de delimitación de zona de trabajo:

Las zonas de trabajo se delimitarán con cintas de franjas alternas verticales de colores blanco y rojo.

Control de riesgos

En las áreas donde se maneja o se almacenan los baños ácidos deberán existir, convenientemente distribuidas, duchas de seguridad, fuentes de agua para lavado de ojos o red de tubería de agua potable para irrigación de los ojos o para lavar cualquier parte del cuerpo que haya sido salpicada. El agua que se emplea en la alimentación de estas regaderas y fuentes lava ojos, deberá ser de preferencia tibia y las regaderas deberán suministrar agua en abundancia a una presión moderada habiendo una válvula de acción rápida y que una vez operada queda abierta. La localización de estos dispositivos deberá ser estratégica para permitir un rápido y fácil acceso.

Todos los trabajadores que trabajen en áreas de ácido, deberán conocer la localización de los dispositivos de seguridad mencionados.

En caso de fugas o derrames de ácido, deberá lavarse inmediatamente con agua abundante el área contaminada; posteriormente se deberá neutralizar la acidez remanente por medio de una solución de bicarbonato de sodio o lechada de cal. Para evitar daños o contaminación de los drenajes en caso de fugas o derrames considerables de ácido, deberán lavarse éstos arrojándoles una cantidad suficiente de solución de bicarbonato de sodio u otra sustancia alcalina.



Se deben colocar escaleras, plataformas y pasillos para tener acceso a la parte superior de los tanques.

Siempre que sea posible, los baños ácidos y el resto de productos de peligrosidad elevada deben ser manejados totalmente mediante un sistema cerrado. Los tanques de almacenamiento y equipo similares deben estar siempre protegidos con respiradores situados de manera que un derrame accidental sea descargado con seguridad en un colector o en algún otro lugar seguro.

Es importante mantener una ventilación adecuada en todos los lugares en donde se maneja el ácido, ya que los vapores son extremadamente irritantes de la parte superior de las vías respiratorias.

El almacenamiento del ácido debe estar al descubierto, en edificios bien ventilados o en cobertizos. Los accesorios electrónicos deben ser del tipo a prueba de líquidos y todo el alumbrado debe estar dentro de conductos metálicos rígidos a prueba de líquidos. No se debe fumar, ni prender luces descubiertas en la cercanía de estas zonas por la peligrosidad de formación de mezclas explosivas en la atmósfera, en caso de escape de vapores, o formación de hidrógeno.

Antes de iniciar un trabajo, se debe comprobar que no hay hidrógeno, para lo cual se revisan los orificios del muestro localizados en la parte superior de las torres y en cualquier otro lugar del sistema. Esta precaución se aplica particularmente a los tambores o tanques parcialmente llenos. Se deben tomar precauciones especiales cuando se suelde o se produzca fuego en las líneas de ácido que han sido purgadas, pero no lavadas. La producción acelerada de hidrógeno por generación de calor en algún lugar determinado, con frecuencia origina pequeñas explosiones, aspersion del ácido y destrucción de soldaduras, por lo cual dichas líneas deben lavarse y purgarse cuando sea posible.

En todos los sistemas cerrados que se abren para realizar trabajos con producción de calor, la sección interesada debe ser aislada en tanto sea posible, en ambas direcciones. También debe efectuarse el barrido de los gases arrastrados o acumulados.



Una ventilación adecuada es indispensable para prevenir las explosiones del hidrogeno.

Instrucción y entrenamiento de personal

La seguridad en el manejo de sustancias de peligrosidad elevada depende, en gran parte, de la efectividad en la instrucción del personal, del entrenamiento correcto en las prácticas de seguridad, del uso del equipo de seguridad y de una supervisión inteligente. La supervisión es responsable de la instrucción y el entrenamiento de los empleados para que estos trabajen con seguridad y utilicen el equipo de protección personal que se les proporciona.

Con objeto de que los trabajadores estén ampliamente informados sobre los riesgos a que se expondrían en caso de realizar maniobras inadecuadas, y para que, además, sepan cómo actuar cuando se presente una emergencia, se deberán impartir periódicamente pláticas, tanto de trabajadores nuevos como a los que tienen años de servicio, sobre los siguientes aspectos principales:

- Localización, propósito y uso del equipo de protección personal, duchas de seguridad, fuentes para lavado de ojos, e hidrantes para casos de emergencia.
- Localización, propósito y uso del equipo contra incendio, alarmas y equipo de emergencia, tales como válvulas o interruptores.
- Medios para evitar la inhalación de vapores o vapor de ácidos y contacto directo con el liquido.
- Forma de actuar, procedimientos a seguir en casos de emergencia y medidas de primeros auxilios.
- Precauciones y procedimientos a seguir durante la carga y descarga de este producto.



Equipo de protección personal

Es necesario considerar como un complemento de carácter imprescindible y obligatorio el uso del equipo de protección personal a quien tenga contacto o esté implicado en el manejo directo de los baños, es decir trabajo en especial en las unidades de almacenamiento y neutralización, y no exime al trabajador de tomar todo tipo de medidas de precaución en cuanto a su comportamiento y desempeño personal en el ejercicio de cualquier operación.

El equipo de protección personal deberá seleccionarse, tomando en cuenta el trabajo que se va a desarrollar, entre los que a continuación se enumeran:

Botas de hule.

Guantes de hule.

Mandil de hule.

Chaqueta y pantalón de hule o de otro material resistente al ácido.

Gafas de protección contra sustancias químicas.

Pantallas faciales.

Máscara con cartucho para vapores orgánicos y gases ácidos.

Máscara o capuchón con suministro de aire forzado.

Cinturones o arneses.

Protección Para los Ojos

Los anteojos de seguridad con bordes de metal o plástico con protecciones laterales sin perforaciones. Se pueden usar en los lugares donde es conveniente una protección continua a los ojos, tal como en los laboratorios. Sin embargo, no deben usarse donde se necesita una protección total de los ojos contra los ácidos.



Las antiparras de seguridad antiácidas, tipo ventosa o molde de hule, cuidadosamente ajustados y equipados con lentes de plástico o de vidrio resistente al impacto, deben usarse cuando haya posibilidad de recibir ácido en los ojos.

Las caretas faciales de plástico (de cobertura total, con protección para la frente, se pueden emplear como complemento de las antiparras de seguridad antiácidas, en donde existe el peligro de impacto en los ojos desde abajo o alrededor de las partes laterales de la careta.

Protección Respiratoria

El equipo de aire autónomo permite al portador llevar una dotación de oxígeno o aire comprimido en un cilindro y el tipo autogenerador produce oxígeno químicamente. Los equipos anteriores permiten una movilidad considerable. El lapso de tiempo en el cual un equipo de aire autónomo da protección, varía de acuerdo a los volúmenes de aire, oxígeno material de regeneración que se transportan. No se debe usar oxígeno comprimido donde existe peligro de contacto con líquido o vapores inflamables o con fuentes de ignición, especialmente en espacios confinados como fosos y tanques.

Las mascarillas con manguera y con aire a presión suministrado por sopladores que no requieren lubricación interna, deben estar localizadas en un área libre de contaminación. Las condiciones de uso de este equipo deben ser tales que permitan el escape con seguridad en el caso de fallas del suministro de aire. Se deberá tomar precauciones para que la manguera no se enrede.

Se pueden usar mascarillas para gas del tipo de filtro industrial, equipadas con protector facial que cubra toda la cara y dotadas del filtro correcto para la absorción del ácido. Estas mascarillas dan protección contra concentraciones que no excedan del 2% en volumen y el contenido de oxígeno del aire no sea mayor al 16% en volumen. Estas mascarillas deben usarse solo durante periodos de exposición relativamente cortos. No son apropiadas para usarse en



emergencias debido a que en esos momentos la concentración real del vapor es desconocida y puede haber una deficiencia de oxígeno.

En los lugares en donde se puede encontrar monóxido de carbono o algún otro gas con poco o ningún olor, además del ácido, la mascarilla debe estar dotada de un filtro para todo uso y de un dispositivo marcador de tiempo o de un indicador calorimétrico de ventana.

Protección Para la Cabeza

Debe usarse los cascos en los lugares donde hay peligro de impactos de objetos que caen. Si no se considera necesario el uso del casco, se pueden emplear sombreros o gorras para dar protección contra fugas y salpicaduras de líquidos.

Protección Para los Pies

Se recomienda el uso de botines o botas de seguridad de hule con casquillos internos de acero especialmente para los trabajadores que manejan tambores y garrafones de líquidos.

Protección del Cuerpo, de la Piel y de las Manos

En los lugares en donde hay posibilidad de contacto con el cuerpo, se deben usar guantes de hule y mandiles.

Se recomienda utilizar un equipo completo de hule con antiparras para químicos, botas de hule y mascara de plástico, para efectuar limpieza de equipos en caso de que sea necesario.



Recomendaciones para Uso y Conservación del Equipo

Todo equipo de protección respiratorio debe ser proporcionado por la empresa.

El trabajador que use equipo de protección respiratoria deberá:

Estar entrenado en su manejo.

Identificarlo con su área de trabajo.

Conocer el tiempo que le dará servicio.

Rotulación e identificación

Todos los recipientes deberán llevar en lugar visible una identificación que cumpla con las Normas Oficiales correspondientes, por ejemplo para el ácido sulfúrico, se identificará el contenido de este ácido en:

- a) tuberías
- b) tanques de almacenamiento y de proceso
- c) recipientes como botellas, garrafones y tambores.

Tanques de Almacenamiento

Los tanques de almacenamiento deberán tener los siguientes letreros:

- 1- Capacidad del tanque.
- 2- Letrero que indique "baño agotado de ácido sulfúrico" y su concentración en porcentaje.
- 3- Identificación según la norma NFPA 704 consistente en un diamante con los colores y números indicados para ese producto.
- 4- Un rectángulo en fondo naranja con el número de identificación del ácido ante las Naciones Unidas.



Reparación y limpieza de tanques y equipos

La limpieza y reparación de tanques y equipos deberá estar supervisadas por personal perfectamente adiestrado y familiarizado con todos los riesgos, así como con las medidas de seguridad necesarias para la realización de las labores.

Siempre que sea posible, deberán limpiarse los recintos desde el exterior empleando las aberturas para la limpieza. Deben cortarse o desconectarse las líneas de tubería quitando de preferencia una sección pequeña completa, e instalando una brida ciega en el extremo abierto para protección contra los errores humanos y las fugas inesperadas. No debe confiarse en las válvulas, las llaves y las bridas ciegas de la línea de tubería.

Deben mostrarse los avisos preventivos para indicar en qué momento están los trabajadores en el interior del tanque o en otro equipo, asegurándose que puedan abandonar el tanque por la entrada original.

Deben extraerse todos los fusibles y tomas de seguridad; quitarse y etiquetarse los interruptores e inmovilizarlos con seguros los agitadores, bombas o cualquier otro equipo accionado por energía eléctrica.

Inspección de materiales y equipos

El contenido básico de la función de la inspección es asegurar que todos los equipos y material cumplan con las especificaciones, códigos e instrucciones enumerados en los documentos que acompañan la orden de compra y a los posteriores cambios de la misma.

A continuación y a título de ejemplo se incluyen una serie de procedimientos de inspección de algunos materiales y equipos:



a) Recipientes a presión y sus interiores

Los aparatos a presión deberán ser inspeccionados periódicamente, a los efectos de asegurar la integridad del recipiente, evaluando para ello la condición del recipiente, el fluido contenido, y el medio ambiente en el cual se opera.

Las inspecciones podrán ser internas o externas, y pueden incluir numerosas técnicas no destructivas:

- (1) Inspección visual
- (2) Control de espesores
- (3) Medición de dureza
- (4) Prueba hidráulica / neumática
- (5) Emisiones Acústicas
- (6) Replicas metalográficas
- (7) Radiografías - Gamma grafías
- (8) Partícula magnetizable
- (9) Líquido penetrante
- (10) Calculo de resistencia
- (11) Modelización por elementos finitos
- (12) Control de elementos de seguridad

b) Cambiadores de calor (Carcasa y tubos)

Los subconjuntos fabricados y soldados, tales como carcasa, canales, cabezales, serán inspeccionados de manera análoga al caso anterior.



La inspección de los tubos, haces tubulares, carcasas, cabezales flotantes y canales se realizará separadamente antes del montaje y de las pruebas del conjunto. El procedimiento de prueba es función del tipo de cambiador de calor y se realizará con arreglo a las especificaciones particulares del equipo. Se realizarán pruebas de estanqueidad necesarias.

c) Bombas

Además de la inspecciones durante acopios y fabricación, se exigen certificados o se presenciarán, según se requiera, los siguientes ensayos parciales o finales.

-Prueba hidrostática de los cuerpos de acuerdo con el código y especificación aplicable.

-Pruebas de funcionamiento, con la obtención de curvas de funcionamiento, de potencia y de rendimiento. La prueba de funcionamiento incluirá en su caso la medida del NPSH requerido de la bomba.

d) Tuberías y accesorios

Se realizará la prueba hidrostática por muestro en la válvula, en la que también se hará un detallado control dimensional. En el caso de accesorios se realiza control dimensional por muestreo.

e) Instrumentación

Algunas de las pruebas que se realizan son para verificar el estado y correcto funcionamiento de los elementos de seguridad son:

-*Paneles de control*: los paneles, tanto centrales como locales, serán inspeccionados para comprobar su conformidad con los planos finales aprobados.



-*Controladores de nivel*: se realizará una prueba hidráulica del cuerpo y se calibrarán utilizando agua o pesos, según los procedimientos estándar del fabricante.

-*Válvulas de control*: las válvulas de control serán inspeccionadas para comprobar su conformidad con las especificaciones y requisiciones aplicables. Se realizarán pruebas neumáticas de estanqueidad en el obturador y asiento de las válvulas.

-*Válvulas de seguridad*: deberá verificarse en forma periódica, que las mismas actúen a los valores preestablecidos, a efectos de asegurar que actúen ante eventuales sobrepresiones, que puedan comprometer la integridad del recipiente, debiendo ser recalibradas, en caso de ser necesario.

Respecto a la presión de timbrado, para recipientes en general, esta no deberá ser superior al 10% de la presión máxima de trabajo del recipiente, y en cuanto a su sección de descarga, deberá ser tal que la capacidad total de descarga de la válvula, permita que la sobrepresión en el interior del recipiente, no sea superior al 10 % de la presión de timbrado

-*Manómetros*: también deben estar montados directamente sobre el recipiente, permitiendo una lectura perfectamente legible, y sus rangos comprendidas entre 1,5 a 4 veces los valores de pruebas de presión.

-*Presostatos*: Periódicamente deberá verificarse que los mismos actúen a los valores preestablecidos a efectos de asegurar de que se interrumpa el ingreso de fluido al recipiente cuando la presión alcance valores comprometedores para la integridad del mismo.

-*Termómetros*: Deberán permitir una lectura perfectamente legible y periódicamente deberá constatar su correcto funcionamiento.

-*Drenajes o purgas*: en caso de ser manuales deberá establecerse una frecuencia regular de purgado del recipiente; en el caso de que fuera automático, se deberá implementar un plan periódico de limpieza y mantenimiento, que asegure su correcto funcionamiento.



Medidas Preventivas

Se deberán llevar a cabo mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos.

- Mantenimiento predictivo: realizar inspecciones visuales y de olfato en las áreas de proceso y por último el control de la presión, temperatura y flujos para garantizar una operación segura.
- Mantenimiento preventivo: se deberá de tener un plan de mantenimiento programado con frecuencias o lecturas en las áreas de limpieza, lubricación así como la instrumentación, siguiendo las rutinas y los métodos programados en el sistema.
- Mantenimiento correctivo: este sólo se realiza cuando el personal de producción, mantenimiento e ingeniería están enterados del estado de los equipos, tomándose así medidas correctivas.

ESTUDIO DE SEGURIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

Procedimientos genéricos de seguridad y salud

En este apartado se podrá incluir aquellas disposiciones mínimas incluidas en el Anexo IV del R.D. 1627/1997 y que afecten al conjunto de la obra, aunque no sean las específicas de la instalación y/o obra incluidas en el Estudio Básico.

Aspectos genéricos aplicables durante la ejecución de la obra

Es relevante para el correcto funcionamiento de la obra tener en cuenta una serie de normas que eviten posibles altercados durante la ejecución de la misma.



- Es importante mantener tanto el orden como la limpieza en el lugar donde se realiza la obra.
- La correcta elección del emplazamiento de los puestos y áreas de trabajo, teniendo en cuenta sus condiciones de acceso, y la determinación de las vías o zonas de desplazamiento o circulación.
- Manipulación adecuada de los distintos materiales y utilización de los medios auxiliares.
- El mantenimiento, el control previo a la puesta en marcha y la revisión periódica de las instalaciones y dispositivos necesarios para la ejecución de la obra, con objeto de corregir los defectos que pudieran afectar a la seguridad y salud de los trabajadores.
- La delimitación y el acondicionamiento de las zonas de almacenamiento y depósito de los distintos materiales, en particular si se trata de materias o sustancias peligrosas.
- La recogida de los materiales peligrosos utilizados.
- El almacenamiento y la eliminación o evacuación de residuos y escombros.
- La adaptación, en función de la evolución de la obra, del período efectivo que habrá de dedicarse a los distintos trabajos o fases de trabajo.
- La cooperación entre contratistas, subcontratistas y trabajadores autónomos.
- Las interacciones e incompatibilidades con cualquier otro tipo de trabajo o actividad que se realice en la obra o cercana a la misma.



Normas mínimas de seguridad y salud a emplear durante la ejecución

En este subapartado se dictan una serie de normas a tener en cuenta, para minimizar en lo posible los riesgos que pudieran aparecer durante la ejecución de la obra.

Los puestos de trabajo y las plataformas de trabajo, móviles o fijas, situados por encima o por debajo del nivel del suelo deberán ser sólidos y estables teniendo en cuenta:

- El número de trabajadores que los ocupe.
- Las cargas máximas, fijas o móviles, que puedan tener que soportar, así como su distribución.
- Los factores externos que pudieran afectarles
- En caso de que los soportes y los demás elementos de estos lugares de trabajo no poseyeran estabilidad propia, se deberá garantizar su estabilidad mediante elementos de fijación apropiados y seguros con el fin de evitar cualquier desplazamiento inesperado o involuntario del conjunto o de parte de dichos puestos de trabajo.
- Deberá verificarse de manera apropiada la estabilidad y la solidez, y especialmente después de cualquier modificación de la altura o de la profundidad del puesto de trabajo.

Instalaciones de suministro energético

La instalación eléctrica de los lugares de trabajo en las obras deberá ajustarse a lo dispuesto en su normativa vigente. (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión).

En todo caso, y a salvo de disposiciones específicas de la normativa citada, dicha instalación deberá satisfacer las condiciones que se señalan en los siguientes puntos de éste.



Las instalaciones deberán proyectarse, realizarse y utilizarse de manera que no entrañen peligro de incendio ni explosión y de modo que las personas estén debidamente protegidas contra los riesgos de electrocución por contacto directo o indirecto.

El proyecto, la realización y la elección de material y de los dispositivos de protección deberán tener en cuenta el tipo y la potencia de la energía suministrada, las condiciones de los factores externos y la competencia de las personas que tengan acceso a partes de la instalación.

Deberán verificarse y mantenerse con regularidad las instalaciones de distribución de energía presentes en la obra, en particular las que estén sometidas a factores externos.

Las instalaciones existentes antes del comienzo de la obra deberán estar localizadas, verificadas y señalizadas claramente.

Confort para el trabajador

El obrero debe tener una sensación de confort para desempeñar su trabajo con garantías y sin riesgo para su salud, cuando las circunstancias del proyecto lo permitan, teniendo en cuenta los métodos de trabajo que se apliquen y las cargas físicas impuestas a los trabajadores.

Deberá protegerse a los trabajadores contra las inclemencias atmosféricas que puedan comprometer su seguridad y su salud.

Los lugares de trabajo, los locales y las vías de circulación en la obra deberán disponer, en la medida de lo posible, de suficiente luz natural y tener una iluminación artificial adecuada y suficiente durante la noche y cuando no sea suficiente la luz natural. En su caso, se utilizarán puntos de iluminación portátiles con protección antichoque. El color utilizado para la iluminación artificial no podrá alterar o influir en la percepción de las señales o paneles de señalización.



Las instalaciones de iluminación de los locales, de los puestos de trabajo y de las vías de circulación deberán estar colocadas de tal manera que el tipo de iluminación previsto no suponga riesgo de accidente para los trabajadores.

Los locales, los lugares de trabajo y las vías de circulación en los que los trabajadores estén particularmente expuestos a riesgos en caso de avería de la iluminación artificial deberán poseer una iluminación de seguridad de intensidad suficiente.

Zonas de paso y puntos de peligro

Las zonas de tránsito de trabajadores, incluyendo escaleras, escaleras fijas y muelles y rampas de carga deberán estar además de despejadas, calculadas, situadas, acondicionadas y preparadas para su uso de manera que se puedan utilizar fácilmente, con toda la seguridad y conforme al uso al que se les haya destinado y de forma que los trabajadores empleados en las proximidades de estas vías de circulación no corran riesgo alguno.

Las dimensiones de las vías destinadas a la circulación de personas o de mercancías, incluidas aquellas en las que se realicen operaciones de carga y descarga, se calcularán de acuerdo con el número de personas que puedan utilizarlas y con el tipo de actividad.

Cuando se utilicen medios de transporte en las vías de circulación, se deberá prever una distancia de seguridad suficiente o medios de protección adecuados para las demás personas que puedan estar presentes en el recinto.

Las vías estarán perfectamente señalizadas y balizadas, procediéndose regularmente a su control y mantenimiento.

Las vías de circulación destinadas a los vehículos deberán estar situadas a una distancia suficiente de las puertas, portones, pasos de peatones, corredores y escaleras.

Si en la obra hubiera zonas de acceso limitado, dichas zonas deberán estar equipadas con dispositivos que eviten que los trabajadores no autorizados



puedan penetrar en ellas. Se deberán tomar todas las medidas adecuadas para proteger a los trabajadores que estén autorizados a penetrar en las zonas de peligro. Estas zonas deberán estar señalizadas de modo claramente visibles.

Situaciones de emergencia

El empresario deberá garantizar respuestas adecuadas ante situaciones de emergencia con personal formado. Además deberá instruir a los empleados con una serie de métodos básicos, para actuar ante cualquier eventualidad. Asimismo, deberán adoptarse medidas para garantizar la evacuación, a fin de recibir cuidados médicos, a los trabajadores afectados o accidentados por una indisposición repentina.

Cuando el tamaño de la obra o el tipo de actividad lo requieran, deberán contarse con uno o varios locales para primeros auxilios.

Los locales para primeros auxilios deberán estar dotados de las instalaciones y el material de primeros auxilios indispensables y tener fácil acceso para las camillas.

En todos los lugares en los que las condiciones de trabajo lo requieran se deberá disponer también de material de primeros auxilios, debidamente señalizado y de fácil acceso.

Una señalización claramente visible deberá indicar la dirección y el número de teléfono del servicio local de urgencia.

Instalaciones anexas para uso personal del obrero

Este apartado reza sobre las instalaciones que el empresario deberá facilitar al trabajador para uso personal, ya sean vestuarios, taquillas, aseos, duchas, lugares de descanso, etc. dependiendo del ámbito del proyecto.

Cuando los trabajadores tengan que llevar ropa especial de trabajo deberán tener a su disposición vestuarios adecuados.



Los vestuarios deberán ser de fácil acceso, tener las dimensiones suficientes y disponer de asientos, así como de unas condiciones higiénicas suficientes.

Cuando las circunstancias lo exijan (por ejemplo, sustancias peligrosas, humedad, suciedad), la ropa de trabajo deberá poder guardarse separada de la ropa de calle y de los efectos personales.

Cuando los vestuarios no sean necesarios, en el sentido del párrafo primero de este apartado, cada trabajador deberá poder disponer de un espacio para colocar su ropa y sus objetos personales bajo llave.

Cuando, con arreglo al párrafo primero de este apartado, no sean necesarias duchas, deberá haber lavabos suficientes y apropiados con agua corriente, caliente si fuere necesario, cerca de los puestos de trabajo y de los vestuarios.

Si las duchas o los lavabos y los vestuarios estuvieren separados, la comunicación entre unos y otros deberá ser fácil.

Los trabajadores deberán disponer en las proximidades de sus puestos de trabajo, de los locales de descanso, de los vestuarios y de las duchas o lavabos, de locales especiales equipados con un número suficiente de inodoros y de lavabos.

Disposiciones especiales para los trabajadores discapacitados

El lugar de ejecución de la obra deberá estar especialmente acondicionado para los trabajadores que tengan algún grado de minusvalía. Esta disposición se aplicará en particular a las puertas, vías de circulación, escaleras, duchas, lavabos, retretes y lugares de trabajo utilizados u ocupados directamente por trabajadores minusválidos.

Desprendimiento de materiales

Los empleados deberán estar constantemente protegidos ante posibles desprendimientos de materiales, aplicando a ser posibles medidas de grupo.



Cuando sea necesario, se establecerán pasos cubiertos o se impedirá el acceso a las zonas peligrosas.

Los materiales de acopio, equipos y herramientas de trabajo deberán colocarse o almacenarse de forma que se evite su desplome, caída o vuelco.

Riesgo de caídas

Las plataformas, andamios y pasarelas, así como los desniveles, huecos y aberturas existentes en los pisos de las obras, que supongan para los trabajadores un riesgo de caídas de altura superior a 2 m de altura, se protegerán mediante barandillas, redes u otro sistema de protección colectiva de seguridad equivalente, en todos sus bordes o huecos, ni siquiera en el primer forjado cuando se vayan a montar horcas y redes cada 2 alturas.

Los trabajos en altura sólo podrán efectuarse, en principio, con la ayuda de equipos concebidos para tal fin o utilizando dispositivos de protección colectiva, tales como barandillas, plataformas o redes de seguridad. Si por la naturaleza del trabajo ello no fuera posible, deberá disponerse de medios de acceso seguros y utilizarse cinturones de seguridad con anclaje u otros medios de protección equivalente.

La estabilidad y solidez de los elementos de soporte y el buen estado de los medios de protección deberán verificarse previamente a su uso, posteriormente de forma periódica y cada vez que sus condiciones de seguridad puedan resultar afectadas por una modificación, período de no utilización o cualquier otra circunstancia.

Andamiajes y escaleras

Los andamios así como las escaleras provisionales deberán ubicarse y montarse evitando cualquier posibilidad de desplome o variación de su posición originaria.



Las plataformas de trabajo, las pasarelas y las escaleras de los andamios deberán construirse, protegerse y utilizarse de forma que se evite que las personas caigan o estén expuestas a caídas de objetos. A tal efecto, sus medidas se ajustarán al número de trabajadores que vayan a utilizarlos.

- Los andamios deberán ser inspeccionados por una persona competente:
- Antes de su puesta en servicio.
- A intervalos regulares en lo sucesivo.
- Después de cualquier modificación, período de no utilización, exposición a la intemperie, sacudidas sísmicas, o cualquier otra circunstancia que hubiera podido afectar a su resistencia o a su estabilidad.
- Los andamios móviles deberán asegurarse contra los desplazamientos involuntarios.
- Las escaleras de mano deberán cumplir las condiciones de diseño y utilización señaladas por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

Elevadores automáticos

Los aparatos elevadores y los accesorios utilizados en las obras, deberán ajustarse a lo dispuesto en su normativa específica.

En todo caso, y a salvo de disposiciones específicas de la normativa citada, los aparatos elevadores, y los accesorios deberán satisfacer las condiciones que se señalan en los siguientes puntos de este apartado.

Los aparatos elevadores y los accesorios, incluidos sus elementos constitutivos, sus elementos de fijación, anclajes y soportes, deberán:



- Ser de buen diseño y construcción y tener una resistencia suficiente para el uso al que estén destinados.
- Instalarse y utilizarse correctamente.
- Mantenerse en buen estado de funcionamiento.
- Ser manejados por trabajadores cualificados que hayan recibido una formación adecuada.
- En los aparatos elevadores y en los accesorios de izado se deberá colocar, de manera visible, la indicación del valor de su carga máxima.
- Los aparatos elevadores lo mismo que sus accesorios no podrán utilizarse para fines distintos de aquellos a los que estén destinados.

Instalaciones, máquinas y equipos

Las instalaciones, máquinas y equipos utilizados en las obras deberán ajustarse a lo dispuesto en su normativa específica.

En todo caso, y a salvo de disposiciones específicas de la normativa citada, las instalaciones, máquinas y equipos deberán satisfacer las condiciones que se señalan en los siguientes puntos de este apartado.

Las instalaciones, máquinas y equipos, incluidas las herramientas manuales o sin motor, deberán:

- Estar bien proyectados y contruidos, teniendo en cuenta, en la medida de lo posible, los principios de la ergonomía.
- Mantenerse en buen estado de funcionamiento.
- Utilizarse exclusivamente para los trabajos que hayan sido diseñados.



- Ser manejados por trabajadores que hayan recibido una formación adecuada.
- Las instalaciones y los aparatos a presión deberán ajustarse a lo dispuesto en su normativa específica.

Disposiciones varias

Tanto la ubicación de la obra como sus vías de acceso deberán quedar suficientemente señalizadas y balizadas para evitar riesgo ajenos a la propia obra y sus trabajadores.

En la obra, los trabajadores deberán disponer de agua potable y, en su caso, de otra bebida apropiada no alcohólica en cantidad suficiente, tanto en los locales que ocupen como cerca de los puestos de trabajo.

Los trabajadores deberán disponer de instalaciones para poder comer y, en su caso, para preparar sus comidas en condiciones de seguridad y salud.

Los trabajos de derribo o demolición que puedan suponer un peligro para los trabajadores deberán estudiarse, planificarse y emprenderse bajo la supervisión de una persona competente y deberán realizarse adoptando las precauciones, métodos y procedimientos apropiados.

En los trabajos en tejados deberán adoptarse las medidas de protección colectiva que sean necesarias en atención a la altura inclinación o posible carácter o estando resbaladizo, para evitar la caída de trabajadores, herramientas o materiales. Asimismo cuando haya que trabajar sobre o cerca de superficies frágiles, se deberán tomar las medidas preventivas adecuadas para evitar que los trabajadores las pisen inadvertidamente o caigan a través suyo.



Estudio de Seguridad realizado por la Ingeniera Técnica Industrial

Elena Domínguez Hernández

Valladolid, Septiembre de 2012



ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

GENERALIDADES

El objeto de este estudio de impacto ambiental es la enumeración de tipo general técnico de control y de ejecución a las que se han de ajustar las diversas actuaciones de la obra, para la ejecución adecuada del proyecto desde el punto de vista medioambiental.

Este estudio de impacto ambiental se complementa con las especificaciones técnicas correspondientes a la estructura e instalaciones generales de la planta de *tratamiento y gestión de baños ácidos de decapado*, incluidas a lo largo de este estudio medioambiental, evaluando su impacto y planteando soluciones correctas medioambiental y técnicamente.

Además se incluirán normativa específica, documentación, principales impactos medioambientales, materiales, mantenimiento, etc.

Comprensión y Concienciación del impacto medioambiental

Se entiende por “medio ambiente” el entorno vital, conjuntos de factores físicos, estéticos, culturales, sociales y económicos que interaccionan con el individuo y con la comunidad en que vive. Por tanto, no es algo envolvente del hombre, sino algo indisociable de él, de su organización y progreso.

Según lo comentado en el concepto de medioambiente hace referencia al entorno espacial (lo que rodea al hombre) y temporal (uso que hace referido a la herencia cultural e histórica). Un uso anárquico de los recursos del medio ambiente nos llevarían a una situación irreversible, pues la mayor parte de ellos no son renovables, es por ello, que a la par del desarrollo social en los últimos tiempos nos venimos preocupando por compaginar el avance social con el respeto por la naturaleza.



Aunque parezca paradójico, es más rentable evaluar el efecto sobre el medio, que tratar posteriormente de remediar el daño producido sobre el mismo, lo cual no siempre es posible.

Sin embargo, la evaluación de impacto ambiental no pretende ser una figura negativa ni obstruccionista, ni un freno al desarrollo, sino un instrumento operativo para impedir sobreexplotaciones del medio natural y un freno al desarrollo negativo y anárquico para así buscar un equilibrio entre el desarrollo de la actividad humana y el medio ambiente.

El objetivo que preside el estudio del impacto medioambiental es valorar los impactos del proyecto sobre el medio natural, establecer medidas correctoras para eliminar o minimizar el impacto y realizar un programa de control y seguimiento de aquellos impactos residuales que así lo aconsejen. Mediante el estudio se recoge la información necesaria para que posteriormente la administración considere la puesta en marcha y explotación del proyecto viables desde el punto de vista medioambiental.

En consonancia con la preocupación mundial del aspecto medioambiental se crean las normas, leyes, reglamentos y decretos, que intentan desde las administraciones llevar el control sobre un tema tan delicado como es el acoplamiento de evolución y cuidado del entorno natural.

Normativa Europea, Nacional y Autonómica

Será de obligado cumplimiento seguir las directrices que marca la normativa vigente en lo referente al medio ambiente, por ello, se explica a continuación la normativa principal, para una mayor comprensión del estudio al referirse a ellas.



Europa

Desde este organismo se empezó a tomar medidas el 29 de Junio de 1993 cuando se redactó el Reglamento (CEE) nº 1836/93 del Consejo, por el que se permite que las empresas del sector industrial se adhieran con carácter voluntario a un sistema comunitario de gestión y auditorías medioambientales.

Este era el inicio de una larga andanza que tiene como objetivo el bienestar de todos los ciudadanos europeos en consonancia con el medio ambiente, y como tal inició el texto de esta directiva ya no está en vigor siendo sustituido por otros que fortaleciesen su ideal.

También se puede observar la directiva 2003/4/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 28 de Enero de 2003 relativa al acceso público a la información medioambiental y por el que se deroga la anterior directiva 90/313/CEE del Consejo. En esta nueva directiva se dicta que los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que las autoridades públicas organicen y actualicen unos mínimos de información sobre el medio ambiente perteneciente a sus funciones que obren en su poder o en el de otra entidad en su nombre, con vista a su difusión activa y sistemática al público, particularmente por medio de la tecnología de telecomunicación informática y/o electrónica, siempre que pueda disponerse de la misma (no siendo esto último obligatorio). Esta información tendrá un nivel óptimo de calidad como se dicta en el artículo 8 de esta directiva.

Por último la Unión Europea por medio de la directiva 2003/30/CE del Parlamento europeo y del Consejo de 8 de mayo de 2003, relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte, dicta unos máximos de contaminación para preservar la atmósfera.

España

Dentro de la legislación nacional nos podemos encontrar una serie de reglamentos técnicos oficiales (RTO), de los cuales se destacan los siguientes:



- RTO 04: sobre la medición de aparatos de medida del sonido y ruido molesto
- RTO 12: ley de residuos que por medio del Real Decreto 1481/2001 de 27 de diciembre se centra en su acumulación mediante vertederos y en demoliciones, pero estudiaremos mejor el Decreto 159/1994 de 14 de julio de carácter autonómico de Castilla y León.
- RTO 14: sobre la evaluación de impacto ambiental establecida por el Real Decreto legislativo 1302/1986 de 28 de Junio el cual fue dado de paso para la ejecución mediante el Real Decreto 1131/1988 de 30 de septiembre. También trata sobre la ley de protección del ambiente atmosférico Ley 38/1972 de 22 de diciembre, modificado con el Real Decreto 1073/2002 de 18 de octubre sobre evaluación y gestión de la cantidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono. Actualmente por el Real Decreto 430/2004 de 12 de marzo.
- RTO 15: reglamento referido a las clasificaciones de Actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas.
- RTO 16: reglamento sobre la acumulación de sustancias químicas, donde se centran en el Real Decreto 2368/1985 de 20 de noviembre.
- RTO 47: sobre normas tecnológicas de la edificación, en el que podremos encontrar las medidas mínimas de césped, etc.
- RTO 54: reglamento referido al ruido, ampliable con la Ley 37/2003 de 17 de noviembre perteneciente al RTO 14.

Castilla y León

Nuestra comunidad autónoma clasifica la legislación en órdenes, decretos, reales decretos y leyes (en sentido ascendente de prioridad), de los cuales serán de aplicación a este estudio los siguientes:

- Real Decreto 3405/1983, de 28 de noviembre, sobre el traspaso de funciones y servicios del Estado a la Comunidad Autónoma de Castilla y



León en materia de medio ambiente. Y el Real Decreto 515/1987, de 3 de abril, sobre el traspaso de funciones de la Administración del Estado a Comunidad Autónoma de Castilla y León en materia de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas.

- Ley 5/1993, de 21 de octubre sobre actividades molestas donde en el capítulo 1 apartados b y j trata de la extracción y almacenamiento de tierras.
- El Decreto 159/1994, de 14 de julio, que nos muestra el reglamento para la aplicación de la Ley de actividades clasificadas, que aclara de quien es competencia el marco medioambiental.
- El Decreto 209/1995, de 5 de octubre, trata del reglamento de evaluación de impacto medioambiental. Servirá de índice para la realización de este estudio.
- El Decreto 3/1995, de 12 de enero, sobre los niveles sonoros o de vibraciones producidas en actividades clasificadas.
- El Decreto 1/2000, de 18 de mayo, muestra la evaluación de impacto ambiental y auditorías ambientales, la cual derogó la Ley de evaluación de impacto ambiental 8/1994 de 24 de junio.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Características del proyecto

La descripción detallada del proyecto ya ha sido nombrada en el documento de Memoria, de cualquier modo, cabe destacar el concepto básico de la obra para centrarnos antes de hacer el estudio de impacto ambiental.

Se trata de la construcción y explotación de una planta de tratamiento y gestión de baño ácidos de decapado. Este proyecto contará con las siguientes instalaciones.



- Edificio administrativo de dos plantas que abarca:
 - Oficinas
 - Laboratorio de calidad
 - Zona social
 - Aseos
 - Vestuarios
- Una nave cubierta para taller de mantenimiento
- Instalaciones de caldera que están formadas por:
 - Nave cubierta para caldera
 - Depósito para fuel anexo
- Nave de procesos
 - Zona de reactores y filtros
 - Zona de evaporador
 - Zona de almacenamiento
 - Zona de preparación de lechada
- Exteriores
 - Zona de depósitos de carga y descarga
 - Vías de comunicación
 - Balsa de almacenaje
 - Báscula

La ejecución del proyecto se realiza con la intención de producir el menor impacto visual posible. Para ello es necesario colocar un cinturón verde en el perímetro del recinto y dotar de zonas verdes las superficies libres de la entrada, aparcamiento y proximidades a la báscula.

Localización de las instalaciones

La parcela se encuentra en el término municipal de Medina del Campo, en la carretera de Pozaldez. Esta localización contribuirá a un mayor rendimiento de la instalación por motivos, tanto económicos, como logísticos. Por otro lado permite la minimización del impacto ambiental al encontrarse apartado del



centro urbano, estando a la vez en consonancia con un nivel mínimo de molestas sociales.

La parcela previa a la ejecución del proyecto se encuentra dedicada en su totalidad a terreno agrícola.

DESCRIPCIÓN DEL MEDIO

La realización de esta descripción se ha basado en el libro “Análisis del medio físico de Valladolid” publicado por la Consejería de Fomento de la junta de Castilla y León, así como en los datos del observatorio de Villanubla.

Clima

El clima de Medina del Campo está definido por largos y fríos inviernos, veranos de noches frescas y precipitaciones moderadas. Desde el punto de vista térmico la provincia de Valladolid se caracteriza por la duración e intensidad del frío en invierno.

En toda la provincia hay 5 meses (noviembre-marzo) con temperaturas medias inferiores a 10°C y con tres meses iguales o inferiores a 5°C. En el páramo son 6 y 4 meses respectivamente. Ello significa que la media de las mínimas queda por debajo de 0°C durante los tres meses del año (diciembre, enero y febrero). La temperatura media anual es de 12,7°C, siendo el mes más frío Enero con una temperatura media de 5,79°C y el mes más cálido julio con 23,9°C.

La consecuencia inmediata de este rigor y duración del invierno es que el periodo libre de heladas dura aproximadamente 200 días y se limita a los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre. El verano, al que precede una corta primavera y cierra un breve otoño, se limita prácticamente a los meses de julio y agosto y se caracteriza por la fuerte oscilación térmica entre el día y la noche con mínimas muy frías. Hay que destacar que en los



datos recogidos los últimos años los veranos comienzan antes y las temperaturas son considerablemente más altas.

Geología

El territorio es joven desde el punto de vista geológico. Pertenece al mioceno medio y superior o a recubrimientos cuaternarios. La presencia de materiales más antiguos en la provincia podría deberse al movimiento de un bloque del sustrato paleozoico. Dada la situación central de nuestra provincia, este sustrato debe estar a una notable profundidad.

Debido a los aportes de torrenciales y fases palustres con periodos en que predomina la evaporación, entre los sedimentos aportados domina el aporte de materiales calcáreos: arcillas de descalcificación, marga y calizas.

Hidrología

En el territorio considerado se deriva una extensa e intrincada red hidrográfica con canales y numerosas acequias de riego.

En la cuenca hidrográfica del río Duero destaca la subcuenca de los ríos Zapardiel y Trabancos. La mayor parte del año estos cauces circulan bajo caudal mínimo.

Lo importante de la hidrología de la zona reside en los acuíferos subterráneos abundantes en la comarca. Por la situación de la parcela y la cercanía del río Zapardiel, se considera que en este ámbito la situación es ideal, aunque la calidad de las aguas no sea del todo buena.

Destaca también la filtración de las aguas de lluvia a través de fisuras y oquedades de las calizas, lo que motiva que sus aguas sean muy carbonatadas de elevada dureza y sales disueltas.



Suelo

En la zona aparecen los siguientes tipos de suelo:

- **Fluvisoles:** suelos jóvenes formados sobre arenas y limos depositados por los ríos en el fondo de los valles. La textura es variable de acuerdo con la base litológica, pudiendo ser desde arenosa-franca-franca-arcilla-arenosa. Químicamente son pobres en elementos nutritivos.
- **Regosoles:** suelos poco desarrollados, de perfil AC escasamente diferenciado. A veces contiene materias orgánicas. Según su grado de saturación pueden ser dístricos (arenas ácidas) o eutricos, pero también calcáreos, cuando contienen carbonatos en el intervalo de 20 a 50 centímetros de profundidad.
- **Litosoles:** Suelos caracterizados por su escasa profundidad y establecidos sobre roca dura. Suelen asociarse a fuertes pendientes, por lo que son muy erosionados.
- **Cambisoles:** Se caracterizan por el desarrollo de un horizonte de cambio, o de alteración, que dan lugar a la textura y la estructura, son muy distintos a las de los materiales de base. La alteración libera óxidos que dan al horizonte un tinte pardo. El contenido en carbonato cálcico y el grado de acidez es muy variable.
- **Luvisoles:** Son suelos caracterizados por el lavado y por un horizonte de arcilla por iluviación.

Flora y Fauna

La cobertura vegetal presente en la zona se explica, más que por los factores climáticos o altimétricos, por razones históricas. Desde el punto de vista climático, la formación forestal típica de esta provincia serían las encinas que según los factores edáficos y altimétricos se asociaría al quejigo tal vez también al rebollo y a diversas juniperáceas. Esta mezcla debió dominar en los páramos.



Sin embargo la actividad humana que realiza una intensa explotación del suelo, ha modificado profundamente los caracteres de la cobertura vegetal, deforestando la mayor parte de la zona. En la actualidad la zona está dedicada al cultivo de secano.

En lo referente a la fauna de la zona, es destacable la presencia de animales terrestres como conejos, liebres y zorros, así como aéreos tales como golondrinas, palomas o el avión común, precisamente por la explotación del terreno y la ausencia de árboles.

EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO

Los elementos, cualidades y procesos del entorno que pueden ser afectados por el proyecto son:

Factores atmosféricos

Emisiones

Las emisiones a la atmósfera se producen derivadas del proceso como subproductos. Estas emisiones producidas por el proceso proceden de dos focos claramente diferenciados:

- Emisión por combustión de fuel-oil por caldera. Para la generación de vapor de la línea de vapor de alta presión se emplea una caldera de combustión fuel-oil. Los gases generados por la combustión se emiten a la atmósfera mediante una chimenea ascendente sin tiro forzado. Los gases emitidos son principalmente CO, CO₂, SO₂, SO₃, H₂S y vapor de agua. Estos gases son considerados gases invernadero y su emisión



está regulada por la legislación estatal y regional en materia de medio ambiente.

- Emisión de vapor de agua. El circuito de vapor de agua necesita en ocasiones puntuales un purgado para aliviar presión. Es por ello que el circuito dispone de una válvula de purga por donde se emiten ciertas cantidades de vapor de agua a la atmósfera. El evaporador también puede suponer el segundo punto de emisión de vapor de agua ante la imposibilidad de recirculación de parte de flujo por el circuito de vapor.

Olores

El principal foco de olores supone el almacenamiento de los baños ácidos agotados en grandes volúmenes. Estos baños a parte de contener materiales pesados, tienen una alta concentración de ácidos fuertes volátiles que generan olores molestos.

Ruidos y Vibraciones

Las instalaciones recogen diferentes equipos que producen vibraciones y ruidos que pueden resultar perjudiciales para el medio ambiente. Estas instalaciones suelen ser la mayoría bombas o rotores.

La circulación de vehículos pesados dentro de las instalaciones genera un nivel de ruido elevado dependiendo de la afluencia de estos y duración de procesos de carga y descarga de materias primas, subproductos o productos terminados.

Factores visuales

La calidad del paisaje puede verse afectada debido al empleo de estructuras metálicas realizadas para cubiertas de naves de proceso y mantenimiento. También puede suponer un deterioro del valor paisajístico de la zona, la



aparición de eriales o zonas de la parcela que después de la obra, queden abandonadas o empleadas como vertedero o almacén improvisado.

Factores de Agua

Calidad Biológica

La calidad biológica de los efluentes del agua no debe variar ni diferir de un efluente de aguas residuales urbanas. La DBO y DQO se mantendría en valores normales debido al bajo caudal de efluentes procedentes del proceso y el filtrado. Generalmente el mayor caudal de efluentes del proceso es generado por proceso de limpiezas ante vertidos. Esto puede suponer una cantidad muy baja en comparación con la parte de efluentes procedentes de agua residual urbana procedente del edificio administrativo.

Calidad físico-química

El efluente de agua de la planta procede de dos puntos claramente diferenciados:

- Edificio administrativo. La parte del efluente contiene una gran cantidad de materia orgánica y es similar en composición al agua residual urbana.
- Procesos productivos. El proceso no genera subproducto de agua como tal. Sino como efluente de filtrado y sobretodo la generada por procesos de limpieza de suelos e instalaciones. Estas corrientes de aguas residuales puede tener pH bajos cercanos a 3 o altos cercanos a 13.

Acuíferos subterráneos

Las filtraciones por vertidos y derrames accidentales pueden producir cambios en la salinidad y composición de acuíferos subterráneos de las cercanías que se emplean para usos agrícolas.



Vertido a red de saneamiento público

El vertido de la red pública está autorizado por la empresa gestora de la EDAR de Medina del Campo. Se realiza un estudio previo de las condiciones del efluente de agua procedente de las instalaciones.

Factores de generación de residuos

Generación

Los residuos industriales que se generan pueden tener diferente procedencia. Se clasifican de la siguiente manera:

- Residuos sólidos similares a RSU. Residuos de papeles, vidrios, materia orgánica, etc. Que son de composición similar a los residuos sólidos urbanos. Este tipo de residuos se genera por actividad en oficina, vestuarios y laboratorio.
- Residuos sólidos tóxicos y peligrosos. Los residuos tóxicos y peligrosos generados durante la construcción y por el propio proceso productivo se pueden resumir en dos grandes grupos:
 - Lodos de metales pesados retirados del filtro prensa en la línea de proceso.
 - Otros residuos sólidos tóxicos y peligrosos (bidones y recipientes vacíos que contenían RTPs).
- Residuos líquidos tóxicos y peligrosos. Los residuos líquidos suponen en su inmensa mayoría las aguas de filtrado.



Almacenamiento

El almacenamiento y transporte de los residuos supone un riesgo potencial de contaminación y/o derrame. Es por ello que dependiendo del tipo de residuo, se almacenará siguiendo las directrices de seguridad.

Por norma general, cada residuo dispone de un lugar concreto y perfectamente habilitado para su almacenamiento, minimizando así posibilidades de fugas, derrames o su propagación por el resto de las instalaciones y fuera del recinto.

Gestión

Los residuos generados, tanto por los procesos como por la mera actividad humana durante la construcción y la explotación de las instalaciones son valorados y tratados conforme la naturaleza individual de cada uno, siempre intentando reducir al máximo el impacto ambiental durante su proceso de recuperación y reciclado. Es por ello que:

- Los residuos tóxicos y peligrosos serán entregados a gestores autorizados para que puedan valorar y recuperar en caso que sea factible, o eliminar de la forma adecuada sin que suponga un excesivo costo medioambiental.
- Los residuos sólidos similares a RSU serán previamente separados y almacenados hasta su recogida por los servicios municipales de recogida de basura.

Factores energéticos



Empleo de la energía

La energía empleada durante la fase de construcción y durante la explotación de las instalaciones es un factor importante que hay que tener en cuenta. Principalmente existen dos tipos de fuentes de energía que nutren el proceso:

- Energía eléctrica. Conectada a la red general del suministro eléctrico. Las instalaciones pueden disponer de energía eléctrica para maquinaria e iluminación. Por norma general, y según las características de los procesos, existen equipos que requieren un tiempo de trabajo continuo de 24 horas ininterrumpidas, esto supone un gasto energético importante.
- Energía térmica. Para el funcionamiento del proceso existen ciertos equipos que requieren el uso de vapor saturado. El vapor saturado se genera en una caldera que quema fuel-oil para proporcionar calor al agua y así transformarlo en vapor. Este gasto energético es proporcional al flujo de producto tratado por la planta y el producto final recogido.

Recuperación

Se dispone de un sistema de recuperación de energía térmica para evitar un consumo excesivo de fuel-oil por parte de la caldera. Esto contribuye a mejorar el rendimiento económico y reducir considerablemente el gasto energético.

Acciones generadoras de impacto

Construcción

Elementos desencadenantes: Elementos de cimentación, excavación y preparación del terreno	
Acciones	Posibles impactos
Despeje de terreno	Compactación de suelos, vibraciones, polvo, generación de residuos orgánicos,



	ruido.
Apertura de zanjas y pozos	Alteración de suelos, vibraciones, polvo, generación de residuos orgánicos, ruido.
Amontonado y transporte de tierras	Compactación de suelos, vibraciones, polvo, generación de residuos orgánicos, ruido.

Elementos desencadenantes: Hormigonado y Soleras

Acciones	Posibles impactos
Soleras	Compactación de suelos, vibraciones, polvo, generación de residuos de hormigón, ruido.
Hormigonado	Compactación de suelos, vibraciones, polvo, generación de residuos de hormigón, ruido.

Elementos desencadenantes: Construcción de naves y montaje de equipos

Acciones	Posibles impactos
Montaje estructura y naves	Generación de residuos metálicos, ruido, vibraciones, polvo.
Montaje equipos	Generación de residuos metálicos, ruido, vibraciones, polvo.

Explotación

Elementos desencadenantes: Actividad del personal de las instalaciones

Acciones	Posibles impactos
Actividad del personal de las instalaciones	Gasto energético eléctrico, generación de residuos sólidos urbanos, generación de aguas residuales urbanas.



Elementos desencadenantes: Circulación de vehículos y operaciones de carga y descarga	
Acciones	Posibles impactos
Circulación de vehículos pesados	Ruido, vibraciones, emisiones, polvo.
Operaciones de carga y descarga	Vertidos accidentales de baños ácidos, lechada, cal viva, ruido, vibraciones.

Elementos desencadenantes: Proceso de producción	
Acciones	Posibles impactos
Reacción	Gasto energético eléctrico, ruido, vertido líquido accidental en red pública de saneamiento, generación de residuo líquido defectuoso (filtrado defectuoso).
Filtrado	Generación de lodos tóxicos, gasto energético eléctrico, ruido, vibración.
Evaporación	Emisión de vapor, gasto energético eléctrico y térmico, ruido, vibración.
Servicios auxiliares	Emisión de vapor, emisión de gases de combustión, gasto energético eléctrico y térmico, ruido, vibración, generación de RTPs.
Limpieza	Generación de RSU, generación de RTPs, efluente de agua con valor límite de pH.

Evaluación del Impacto Ambiental

Una vez descritos los factores susceptibles de verse afectado por el impacto ambiental del proyecto y las principales acciones que afectarán a dicho impacto, se procede a evaluar detalladamente el impacto que llevará a cabo la realización del proyecto.



Generación de RSU

Los residuos sólido urbanos que se generan suelen ser en general separados según los procesos de reciclaje. En un principio, el 80% de los residuos generados será papel, seguido de un 12% de plástico o envases, un 6% de vidrio y un 2% de materia orgánica.

Estos residuos pueden ser separados desde su origen con sencillez, facilitando el proceso de su valorización. La cantidad generada de RSU no supone ningún tipo de problema para los servicios de limpieza y recogida de basuras municipales, que se ocupan de la correcta valorización de este tipo de residuos.

Generación de RTPs

Los residuos considerados como tóxicos y peligrosos durante la construcción de las instalaciones se generan en un volumen muy pequeño y en momentos puntuales del desarrollo de la obra. Cabe destacar las pinturas, lacados y esmaltes empleados para el revestimiento de cubiertas y perfiles de acero que pueden generar un residuo peligroso susceptible de generarse de forma especial.

El material sobrante de los movimientos de tierras supone una gran cantidad como para provocar un problema ante una incorrecta gestión, al igual que los residuos de restos de obra de hormigón.

Durante la explotación del proceso, el principal residuo generado son los lodos con contenido en metales pesados como son el plomo, el cadmio, el cinc, el arsénico y el antimonio. Estos metales se encuentran en concentraciones suficientes como para ser considerados un residuo tóxico y peligroso, además supone un problema debido al gran volumen que se genera como fruto de su eliminación en la etapa de filtrado.

Los baños mal neutralizados en ocasiones pueden generar problemas a la hora de eliminarlos al igual que la generación de aceites usados procedentes del



empleo de bombas, motores, equipos hidráulicos, etc. El volumen de este tipo de residuos tóxicos generados es muy pequeño y de generación esporádica.

Gastos energéticos

El gasto energético térmico es considerable teniendo en cuenta que se consume fuel-oil a ritmo constante durante 24 horas. El consumo es normal para una caldera comercial para este tipo de procesos, siendo el principal consumo energético el que se realiza durante las operaciones de arranque y estabilización del proceso y la consiguiente recirculación de vapor de agua.

El gasto energético eléctrico se puede considerar elevado ya que la mayor parte de los equipos son eléctricos. En ocasiones los equipos funcionan de forma continua las 24 horas del día, aparte de los gastos por iluminación de las instalaciones.

Ruidos y vibraciones

La generación de ruidos durante la fase de construcción e instalaciones será continua y puede resultar molesto para las personas y entorno. Esto sugiere medidas correctoras durante la fase de construcción.

Los ruidos que se producen en las instalaciones se centran en equipos o zonas aisladas donde se encuentran elementos móviles o vibratorios como pueden ser, la zona de la caldera, proximidades de los filtros prensa, cercanías de bombas de aporte o motores eléctricos.

Las vibraciones se producen por equipos e instalaciones en movimiento. Durante la etapa de construcción pueden aparecer vibraciones por transporte de tierras o máquinas para acondicionamiento del terreno.

Durante la etapa de explotación las vibraciones se centrarán solo en aquellos equipos móviles o con partes móviles a grandes velocidades como motores, agitadores, etc.



Polvo y partículas en suspensión

Por norma general, el polvo o partículas en suspensión se generarán en mayor cantidad durante el movimiento de tierras y excavación de terreno. En todo caso, el nivel de incidencia sobre el medio ambiente de la generación de polvo se determina parte por las condiciones meteorológicas del momento.

Durante la etapa de explotación es posible que parte de la cal viva adquirida de forma pulvulenta pueda formar corrientes de polvo debido a pérdidas en los equipos, derrames accidentales o por acumulación por falta de limpieza en las instalaciones.

Emisiones

Las emisiones a la atmósfera de gases de combustión no producirán un impacto muy negativo sobre el medio ambiente. Se puede considerar como normales dentro de lo permitido por la ley ya que se emplea una caldera comercial de un tamaño y consumo moderado. Es importante tomar mediciones periódicas de las emisiones.

Las emisiones de vapor de agua suponen una ínfima cantidad de emisión, por lo que no es necesario tenerlas en cuenta a la hora de hacer las purgas.

Alteración de suelos

El suelo donde se llevarán a cabo las obras de edificación de las instalaciones es susceptible de sufrir cambios que puedan afectar de diferente manera al entorno medioambiental.

En primer lugar puede suceder la compactación del terreno por la circulación de maquinaria pesada por fuera de los lugares establecidos para ello. Esto puede suponer una pérdida en la calidad del suelo en parcelas anexas.



En segundo lugar existe la posibilidad de lixiviaciones o filtraciones de lechada, baños, cloruro cálcico o aguas procedentes de los lodos de filtrado. Estas filtraciones se pueden producir por derrames o vertidos accidentales durante procesos de carga y descarga, por pérdidas en equipos, tuberías o instalaciones en mal estado o por accidente severo con grandes daños en la estructura general. Estas lixiviaciones pueden producir una contaminación en los acuíferos subterráneos de los alrededores, suponiendo una gran pérdida ecológica.

MEDIDAS CORRECTORAS

A continuación se procede a enumerar las medidas correctoras más adecuadas. En todo caso, se procederá a la ejecución de todas las medidas, que a pie de obra, puedan resultar beneficiosas directa o indirectamente para el medio ambiente.

Excavaciones y Obras de construcción y montaje

- El movimiento de tierra para la creación de las instalaciones es considerable. El volumen de terreno que no se utiliza en la construcción de la obra se llevará a una escombrera autorizada teniendo en cuenta la resolución de 14 de junio de 2001, de la Secretaria General de Medio Ambiente, por la que se dispone la publicación del Acuerdo de Consejo de Ministros de 1 junio de 2001, por el que se aprueba el Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición 2001-2006.
- Máxima adaptación al terreno para evitar movimientos de tierra innecesarios.
- Los RTPs generados durante el proceso de construcción e instalación deberán ser correctamente almacenados a la espera de su gestión por parte de un gestor autorizado siguiendo las directrices que marca la Ley 10/1998, de 21 de abril, de residuos.



- Se delimitarán los caminos y las vías de circulación y operación de la maquinaria pesada a fin de no afectar a terrenos colindantes.
- Se evitará en la medida de lo posible el uso innecesario de aparatos que produzcan ruidos por encima de 100 dB y/o generen vibración de forma continua.

Generación y tratamiento de residuos

- los RTPs generados serán correctamente recogidos y almacenados según su naturaleza y peligro. El almacenamiento se producirá en las condiciones necesarias para evitar cualquier derrame, propagación o filtración que pueda afectar a instalaciones fuera de la zona de almacenamiento especificada o al entorno de las instalaciones.
- Se intentará en la medida de lo posible la reducción total de la generación de RTPs derivado del proceso de explotación o construcción de las instalaciones. Los RTPs serán clasificados conforme su peligrosidad, su naturaleza y su facilidad de gestión de tal manera que facilite tal proceso.
- Para la gestión de RTPs se contará con gestores autorizados para la valorización de cada tipo de residuo tóxico y peligroso generado por el proceso durante la construcción y explotación de las instalaciones.
- La generación de RSU se puede reducir considerablemente aplicando la reducción de material susceptible a producir desecho. Es muy importante la separación de los residuos por su tipo ya que de esta manera se contribuye a un mejor funcionamiento en el proceso de reutilización de dichos residuos.
- Los RSU serán gestionados por el servicio municipal de recogida de basuras para su valorización y gestión correcta.
- De igual manera, es destacable la concienciación de los empleados para hacerles partícipes de la actitud en lo referente a la reducción de la generación de residuos.



Emisiones a la atmósfera

- La reducción de las emisiones se puede conseguir desde el diseño del proceso empleando una caldera más eficiente que permita una combustión mejor. Esto reduce considerablemente la emisión de gases como el H₂S, SO₂ y CO a la atmósfera.
- Empleo de filtros selectivos en la salida del foco de emisión permite la eliminación de parte de los gases invernadero y los sólidos expulsados con las emisiones.
- La optimización del proceso de combustión es importante para reducir las emisiones a la atmósfera, así como contar con un equipo en perfecto estado de funcionamiento.
- El seguimiento periódico de las emisiones es de cumplimiento obligatorio para evitar emisiones indeseadas o detectar cualquier anomalía que pudiera ocurrir.
- La correcta elección del combustible y su buena calidad asegura un buen rendimiento y un menor volumen de emisiones.

Gasto energético

- Para reducir los costes energéticos es necesario optimizar la caldera y mejorar el aprovechamiento de los vapores generados por la disolución en el proceso de evaporación
- El empleo de aislantes térmicos para conducciones, edificios y equipos que, por necesidades del proceso, requieren mantener una temperatura; contribuye a la reducción del gasto térmico de la línea de vapor, conservar calor en el edificio administrativo, etc.
- Para reducir el gasto eléctrico es necesario emplear equipos más eficientes que si bien son más costosos, el ahorro energético que suponen a largo plazo, es considerablemente superior.
- La iluminación se centrara en las zonas de trabajo y de paso para que proporcione visibilidad adecuada.
- El uso de iluminación de bajo consumo para reducir el gasto eléctrico.



Efluentes de agua

- Concienciar al personal trabajador de la importancia del agua como recurso y bien escaso para evitar gastos indiscriminados y la consiguiente minimización de efluentes generados por la actividad laboral.
- Canalizar de forma independiente a una balsa de recogida las zonas susceptibles de producirse derrames de baños ácidos o filtrados, como en las naves de proceso, en la zona de carga de los baños y en los depósitos de fuel.
- Recogida con un absorbente específico los derrames ocasionales y tratar luego el residuo generado como residuo tóxico y peligroso.
- Recoger el agua de limpieza de los filtros prensa y verter en lodos recogidos para una correcta gestión como residuo tóxico peligroso.

Polvo

- Aislar zonas susceptibles de generación de polvo, como es la zona de recogida cal viva. De esta manera se evitan corrientes entre zonas y la propagación de polvo.
- Humedecer los suelos cubiertos por material susceptible a generar polvo.
- Establecer una limpieza exhaustiva y continua de las zonas susceptibles de generación y acumulación de polvo.

Ruido y Vibraciones

- Mínimo tratamiento superficial del firme, utilizando siempre que sea posible el propio terreno, sin explanación de ningún tipo y con



maquinaria ligera, de forma que se posibilite una fácil regeneración natural o artificial.

- En el caso de preverse un impacto sonoro o visual, se rodearan los elementos perturbadores mediante pantallas de protección.
- Aislamiento de maquinarias que produzcan vibraciones o ruido excesivamente alto o que,, sin ser tan fuerte, se produzca de manera continua.

Una vez finalizada la construcción de la instalación y previamente a su puesta en servicio, se efectúa una revisión completa de la misma y se establece el Programan de Vigilancia Ambiental de las medidas cautelares y correctoras, llevadas a cabo durante el proyecto y construcción de la nueva instalación de cuyo desarrollo es responsable el personal de mantenimiento correspondiente, con el apoyo técnico del servicio de Medio Ambiente.

Estudio de Impacto Ambiental realizado por la Ingeniera Técnica Industrial

Elena Domínguez Hernández

Valladolid, Septiembre de 2012



BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

- Tesis Doctoral presentada por Henar Samaniego Peña. “Valorización de efluentes de decapado ácido metálico. Recuperación de Zinc.” Escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicaciones de la Universidad de Cantabria.
- Tesis doctoral presentada por Javier Dufour Andia. “Síntesis de hexaferritas de bario a partir de lejías ferrosas residuales de decapado.” Facultad de ciencias químicas de la Universidad Complutense de Madrid. Departamento de ingeniería química.
- “Chemical Engineering” Operaciones básicas. Tomo II. Coulson J.M. y J.F. Richardson. Editorial Reverté, S.A.
- Operaciones Básicas de Ingeniería Química. Tomo 1. McCabe/Smith. Editorial Reverté, S.A.
- “Manual del Ingeniero Químico” R.H. Perry, 6ª Edición (McGraw Hill, 1999)
- “Separations in Chemical Engineering” Philip C. Wankat (Ed. Prentice-Hall, Inc.)
- <http://www.minerometal.ccoo.es/%5Cficpdf%5C67Historia%20de%20la%20Siderurgia%20Integral%20Espa%C3%B1ola2.pdf>
- <http://confemetal.es/uploads/file/doc-metalcifras/2012-02-mcifras.pdf>
- <http://confemetal.es/uploads/file/documentos-pub/2010-informes-economico-Metal-memoriaConfemetal.pdf>
- <http://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/62077-El-sector-del-acero-galvanizado-cierra-2011-con-un-crecimiento-del-3-2-porciento.html>
- <http://aceroinox.net/2011/10/18/el-coste-de-la-corrosion-del-acero-en-espana-alcanza-el-22-del-pib/>
- <http://www.asimet.cl/galvanizado.htm>
- <http://www.galvanizadoslacunza.com/ProcesoGalvanizado.htm#Proceso>
- http://apta.com.es/pdf/galva_caliente.pdf



- http://www.xylazel.com/adjuntos/cProductos/585_xylazelmetalg galvanizadaenfrio.pdf
- <http://www.istas.net/fitema/att/reanxn.htm>
- http://www.istas.net/risctox/gestion/estructuras/_3161.pdf
- <http://www.asiain-asesores.com/rev6/pag64.htm>
- “Recuperación de ácidos y metales en baños agotados del decapado de aceros inoxidables”. (<http://revistademetalurgia.revistas.csic.es>)
- <http://www.textoscientificos.com/quimica/cales/usos-obtencion-yeso-cal>
- <http://es.scribd.com/doc/67287112/2/TRANSPORTE-HIDRAULICO-DE-LA-LECHADA-DE-CAL>
- <http://www.sodimateiberica.com/Unidad%20de%20extincion%20de%20cal%20viva%20.html>
- http://www.ing.uchile.cl/~leherrer/iq651/Apunte1/Fisicoqapu01.htm#_Toc493666877
- http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/consolidado/publicacionesdigitales/40-542_TECNICAS_DE_PREVENCION_DE_LA_GENERACION_DE_SUELOS_CONTAMINADOS_TOMO_I/40-542/9_TRATAMIENTOS_FISICOS-QUIMICOS.PDF
- <http://www.calespachs.com/productos.asp>
- <http://www.jenike.com/Servicios/Silo-Hopper-Design.html>
- http://www.brinsa.com.co/pages/productos/quimicos/usuario/pdf/ficha_tecnica_clorurodecalcio.pdf?PHPSESSID=faa934960051ec153f2b1ed399454927
- <http://www.uclm.es/profesorado/pablofernandez/QG-06-equilibrio%20de%20precipitacion/equilibrio%20precipitacion.pdf>
- http://www.fortalezasa.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=60&Itemid=69
- <http://www.quimicapima.com/fabricantesdenitrato.html>
- <http://www.agitador.es/blog/?cat=7>
- <http://cbi.izt.uam.mx/iq/Laboratorio%20de%20Operaciones%20Unitarias/Practicas%20Laboratorios/PRACTICA1.pdf>



- http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/estudios/pampacobre/Reglamento_transporte.pdf
- <http://profesionseg.blogspot.com.es/2007/05/almacenamiento-de-los-acidos.html>
- <http://www.agt.cl/doc/FactAfectanPreparacionLechadaCal.pdf>
- <http://www.miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PotenciaAgitacion.htm#Viscosidad>
- http://www.induvalmasl.com/productos3.php?id=3&id_subcat=59
- <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/entalpia-energia-libre-compuestos-inorganicos/entalpia-energia-libre-compuestos-inorganicos.pdf>
- www.agtgroup.cl/agtmining.cl/doc/FactAfectanCalidadCaLViva.doc
- http://es.wikipedia.org/wiki/Cloruro_de_calcio
- <http://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080229102052AAbusnz>
- http://ocwus.us.es/arquitectura-e-ingenieria/operaciones-basicas/contenidos1/tema10/pagina_15.htm
- <http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/02/rcm.pdf>



ANEXOS



ESCUELA de
INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

HOJA DE ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA P-102

PROYECTO	Tratamiento y Gestión de Baños Ácidos de Decapado		
REV.	11	UNIDAD	P-102
DATE	Septiembre 2012	DESTINATARIO	Universidad de Valladolid
REALIZADO	Elena Domínguez Hernández	LOCALIZACIÓN	Valladolid (ESPAÑA)

SERVICIO	Introduce agua en el tanque T-102 para diluir la cal apagada
TIPO	Centrífuga
NUMERO DE BOMBAS	2
LIQUIDO BOMBEADO	Agua de servicio
DENSIDAD (kg/m ³)	998,2
FLUJO (m ³ /h)	4,2
TEMPERATURA (°C)	20
VISCOSIDAD (Pa·s)	1002·10 ⁻⁶
POTENCIA (kW)	37,3

BOMBA COMERCIAL

MARCA / MODELO	GORMAN RUPP PUMPS/ T8A-B-3
CAUDAL MÁXIMO (m ³ /h)	6
ALTURA MANOMÉTRICA MÁXIMA (m)	35



ESCUELA de
INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

HOJA DE ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA P-104

PROYECTO	Tratamiento y Gestión de Baños Ácidos de Decapado		
REV.	12	UNIDAD	P-104
DATE	Septiembre 2012	DESTINATARIO	Universidad de Valladolid
REALIZADO	Elena Domínguez Hernández	LOCALIZACIÓN	Valladolid (ESPAÑA)

SERVICIO	Trasvasa la lechada del tanque T-102 al tanque T-103 para almacenarla
TIPO	Centrífuga
NUMERO DE BOMBAS	2
LIQUIDO BOMBEADO	Lechada de cal
DENSIDAD (kg/m ³)	1000
FLUJO (m ³ /h)	7,5
TEMPERATURA (°C)	20
VISCOSIDAD (Pa·s)	1002·10 ⁻⁶
POTENCIA (kW)	9,5

BOMBA COMERCIAL

MARCA / MODELO	GORMAN RUPP PUMPS/ T4B-B-6
CAUDAL MÁXIMO (m ³ /h)	17
ALTURA MANOMÉTRICA MÁXIMA (m)	47



ESCUELA de
INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

HOJA DE ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA P-306

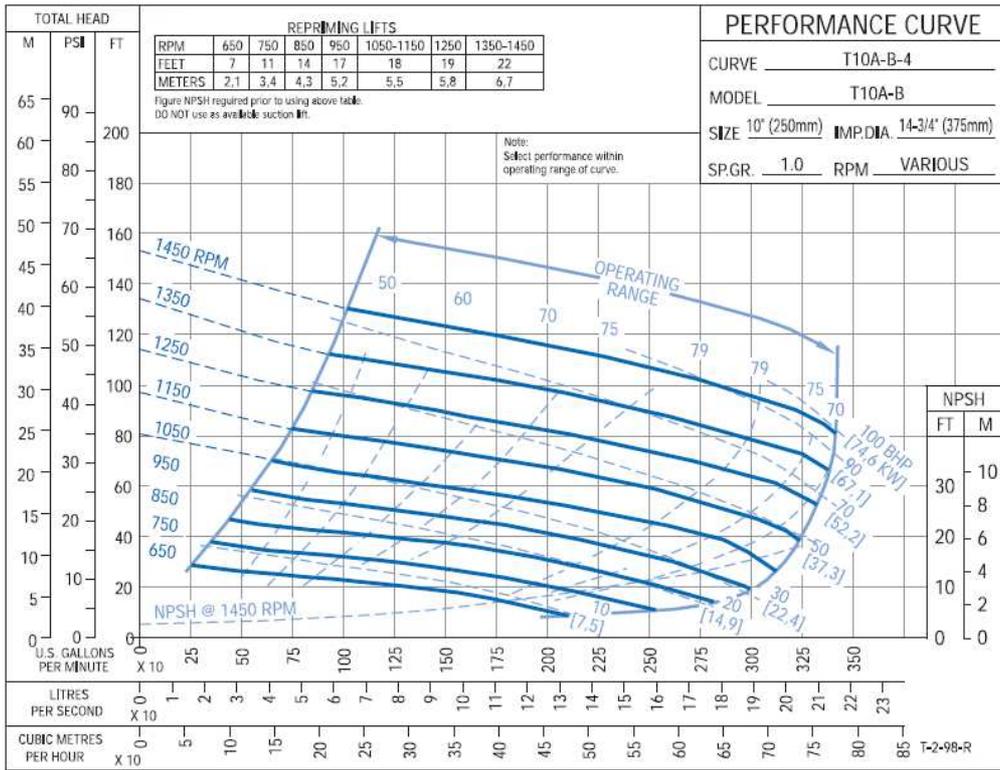
PROYECTO		Tratamiento y Gestión de Baños Ácidos de Decapado	
REV.	13	UNIDAD	P-306
DATE	Septiembre 2012	DESTINATARIO	Universidad de Valladolid
REALIZADO	Elena Domínguez Hernández	LOCALIZACIÓN	Valladolid (ESPAÑA)

SERVICIO	Aporta flujo al evaporador E-301 desde el deposito pulmon T-301
TIPO	Centrífuga
NUMERO DE BOMBAS	2
LIQUIDO BOMBEADO	Solución muy diluida de cloruro cálcico
DENSIDAD (kg/m ³)	1000
FLUJO (m ³ /h)	24
TEMPERATURA (°C)	20
VISCOSIDAD (Pa·s)	1002·10 ⁻⁶
POTENCIA (kW)	30

BOMBA COMERCIAL

MARCA / MODELO	GORMAN RUPP PUMPS/ T10A-B-4
CAUDAL MÁXIMO (m ³ /h)	77
ALTURA MANOMÉTRICA MÁXIMA (m)	40

MODELO T10A-B-4





ESCUELA de
INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL DEPÓSITO PULMÓN T-301

PROYECTO		Tratamiento y Gestión de Baños Ácidos de Decapado	
REV.	10	UNIDAD	T-301
DATE	Septiembre 2012	DESTINATARIO	Universidad de Valladolid
REALIZADO	Elena Domínguez Hernández	LOCALIZACIÓN	Valladolid (ESPAÑA)

SERVICIO	Almacena el cloruro cálcico que se obtiene en los filtros prensa F-301 y F-302 hasta que se haya completado esa operación y así facilitar un flujo continuo al evaporador E-301
CANTIDAD	1
VOLUMEN (m ³)	75,5
ALTURA (m)	4,7
DIAMETRO (m)	4,5
TIEMPO DE RESIDENCIA (h)	24



ESCUELA de
INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL EVAPORADOR E-301

PROYECTO	Tratamiento y Gestión de Baños Ácidos de Decapado		
REV.	9	UNIDAD	E-301
DATE	Septiembre 2012	DESTINATARIO	Universidad de Valladolid
REALIZADO	Elena Domínguez Hernández	LOCALIZACIÓN	Valladolid (ESPAÑA)

SERVICIO	Concentración de la solución de cloruro cálcico		
TIPO	Evaporador de múltiple efecto (3 efectos) con corrientes paralelas		
CANTIDAD	1		
		ENTRADA	SALIDA
FLUJO (Kg/h)	Solución CaCl ₂	24000	6308,6
	Vapor Saturado	9192,9	6414,9
CONCENTRACIÓN DE CaCl ₂		9,2 %	35 %
PRESIÓN (bar)	Solución CaCl ₂	-	0,13
	Vapor Saturado	2	0,13
TEMPERATURA (°C)	Solución CaCl ₂	21	51
	Vapor Saturado	120,2	51
ÁREA DE INTERCAMBIO (m ²)	Cada efecto		87,4
	Total		262,2



ESCUELA de
INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL FILTRO F-301

PROYECTO	Tratamiento y Gestión de Baños Ácidos de Decapado		
REV.	6	UNIDAD	F-301
DATE	Septiembre 2012	DESTINATARIO	Universidad de Valladolid
REALIZADO	Elena Domínguez Hernández	LOCALIZACIÓN	Valladolid (ESPAÑA)

SERVICIO	Filtrado del baño HCl ya neutralizado	
CANTIDAD	2 (F-301 y F-302)	
MODELO	Filtro APN 16 Q	
Nº DE TORTAS	4	
ALTO PLACA (m)	1,35	
ANCHO PLACA (m)	1,35	
SUPERFICIE FILTRANTE (m ²)	14,6	
ESPESOR TORTAS (mm)	40	
MEZCLA	Solución de CaCl ₂ (l) + Fe(OH) ₂ (s)	
DENSIDAD MEZCLA (kg/m ³)	998.2	
DENSIDA SÓLIDOS (g/cm ³)	3,4	
SOLIDOS TORTA (g/l)	1201	
VOLUMEN TORTA (l)	292	
SOLIDOS TORTA (Kg)	350	
PESO TORTA (Kg)	Solo filtrado	539
	Con secado	438
HUECOS EN LA TORTA %	34,6	
HUMEDAD TORTA %	Solo filtrado	35
	Con secado	20
DURACIÓN DEL CICLO (min)	18	



ESCUELA de
INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL FILTRO F-303

PROYECTO	Tratamiento y Gestión de Baños Ácidos de Decapado		
REV.	7	UNIDAD	F-303
DATE	Septiembre 2012	DESTINATARIO	Universidad de Valladolid
REALIZADO	Elena Domínguez Hernández	LOCALIZACIÓN	Valladolid (ESPAÑA)

SERVICIO	Filtrado del baño H_2SO_4 ya neutralizado	
CANTIDAD	1	
MODELO	Filtro APN 16 M10	
Nº DE TORTAS	10	
ALTO PLACA (m)	1,35	
ANCHO PLACA (m)	1,35	
SUPERFICIE FILTRANTE (m^2)	36,5	
ESPESOR TORTAS (mm)	40	
MEZCLA	Solución de $H_2O(l)$ + $CaSO_4(s)$ y $Fe(OH)_2 (s)$	
DENSIDAD MEZCLA (kg/m^3)	998.2	
DENSIDA SÓLIDOS (g/cm^3)	3,1	
SOLIDOS TORTA (g/l)	1161	
VOLUMEN TORTA (l)	729	
SOLIDOS TORTA (Kg)	847	
PESO TORTA (Kg)	Solo filtrado	1303
	Con secado	1058
HUECOS EN LA TORTA %	33,5	
HUMEDAD TORTA %	Solo filtrado	35
	Con secado	20
DURACIÓN DEL CICLO (min)	18	



ESCUELA de
INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL FILTRO F-304

PROYECTO	Tratamiento y Gestión de Baños Ácidos de Decapado		
REV.	8	UNIDAD	F-304
DATE	Septiembre 2012	DESTINATARIO	Universidad de Valladolid
REALIZADO	Elena Domínguez Hernández	LOCALIZACIÓN	Valladolid (ESPAÑA)

SERVICIO	Filtrado de la gestión conjunta de los baños H_2SO_4 y HNO_3 ya neutralizado	
CANTIDAD	1	
MODELO	Filtro APN 16 Q M12	
Nº DE TORTAS	12	
ALTO PLACA (m)	1,35	
ANCHO PLACA (m)	1,35	
SUPERFICIE FILTRANTE (m^2)	43,7	
ESPESOR TORTAS (mm)	40	
MEZCLA	Solución de $H_2O(l)$ y $Ca(NO_3)_2(l)$ + $CaSO_4(s)$ y $Fe(OH)_2(s)$ y $Fe(OH)_3(s)$	
DENSIDAD MEZCLA (kg/m^3)	998.2	
DENSIDA SÓLIDOS (g/cm^3)	3	
SOLIDOS TORTA (g/l)	1147	
VOLUMEN TORTA (l)	875	
SOLIDOS TORTA (Kg)	1003	
PESO TORTA (Kg)	Solo filtrado	1544
	Con secado	1254
HUECOS EN LA TORTA %	33,1	
HUMEDAD TORTA %	Solo filtrado	35
	Con secado	20
DURACIÓN DEL CICLO (min)	29,7	



ESCUELA de
INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL REACTOR R-201

PROYECTO		Tratamiento y Gestión de Baños Ácidos de Decapado	
REV.	3	UNIDAD	R-201 y R-202
DATE	Septiembre 2012	DESTINATARIO	Universidad de Valladolid
REALIZADO	Elena Domínguez Hernández	LOCALIZACIÓN	Valladolid (ESPAÑA)

SERVICIO	Neutralización del baño agotado de HCl
CANTIDAD	2 (R-201 y R-202)
REACCION	$2\text{HCl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{FeCl}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{Fe}(\text{OH})_2$
MATERIAL DE CONSTRUCCION	Acero inoxidable con recubrimiento de vidrio
VOLUMEN (m ³)	15
DIAMETRO (m)	2,5
ALTURA (m)	3,1
FLUJO DE BAÑO AGOTADO (m ³ /tanda)	7,680
FLUJO DE LECHADA DE CAL (m ³ /tanda)	6,653
SISTEMA DE AGITACION	
TIPO DE AGITADOR	Turbina con 6 palas curvas
DIAMETRO AGITADOR (m)	0,75
ANCHURA AGITADOR (m)	0,125
DISTANCIA AL FONDO DEL AGITADOR (m)	0,75
ANCHURA PLACAS DEFELCTORAS	0,25
VELOCIDAD DE AGITACION (rpm)	100
POTENCIA CONSUMIDA (kW)	6,33



ESCUELA de
INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL REACTOR R-201

PROYECTO		Tratamiento y Gestión de Baños Ácidos de Decapado	
REV.	4	UNIDAD	R-201 y R-202
DATE	Septiembre 2012	DESTINATARIO	Universidad de Valladolid
REALIZADO	Elena Domínguez Hernández	LOCALIZACIÓN	Valladolid (ESPAÑA)

SERVICIO	Neutralización del baño agotado de HCl
CANTIDAD	2 (R-201 y R-202)
REACCION	$2\text{HCl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{FeCl}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{Fe}(\text{OH})_2$
MATERIAL DE CONSTRUCCION	Acero inoxidable con recubrimiento de vidrio
VOLUMEN (m ³)	15
DIAMETRO (m)	2,5
ALTURA (m)	3,1
FLUJO DE BAÑO AGOTADO (m ³ /tanda)	7,680
FLUJO DE LECHADA DE CAL (m ³ /tanda)	6,653
SISTEMA DE AGITACION	
TIPO DE AGITADOR	Turbina con 6 palas curvas
DIAMETRO AGITADOR (m)	0,75
ANCHURA AGITADOR (m)	0,125
DISTANCIA AL FONDO DEL AGITADOR (m)	0,75
ANCHURA PLACAS DEFELCTORAS	0,25
VELOCIDAD DE AGITACION (rpm)	100
POTENCIA CONSUMIDA (kW)	6,33



ESCUELA de
INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL REACTOR R-203

PROYECTO	Tratamiento y Gestión de Baños Ácidos de Decapado		
REV.	5	UNIDAD	R-203
DATE	Septiembre 2012	DESTINATARIO	Universidad de Valladolid
REALIZADO	Elena Domínguez Hernández	LOCALIZACIÓN	Valladolid (ESPAÑA)

SERVICIO	Neutralización del baño agotado de H ₂ SO ₄ y el baño conjunto de H ₂ SO ₄ y HNO ₃	
CANTIDAD	1	
MATERIAL DE CONSTRUCCION	Acero inoxidable con recubrimiento de vidrio	
VOLUMEN (m ³)	15	
DIAMETRO (m)	2,5	
ALTURA (m)	3,1	
	Baño agotado de H ₂ SO ₄	Baño conjunto de H ₂ SO ₄ y HNO ₃
REACCION	$H_2SO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_4 + 2H_2O$ $FeSO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_4 + Fe(OH)_2$	$H_2SO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_4 + 2H_2O$ $FeSO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_4 + Fe(OH)_2$ $2HNO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 2H_2O$ $2Fe(NO_3)_3 + 3Ca(OH)_2 \rightarrow 3Ca(NO_3)_2 + 2Fe(OH)_3$
FLUJO DE BAÑO AGOTADO(m ³ /tanda)	6,623	6,898 (3,420 de H ₂ SO ₄ + 3,478 de HNO ₃)
FLUJO DE LECHADA DE CAL (m ³ /tanda)	5,377	6,632
TIPO DE AGITADOR	Turbina con 6 palas curvas	
DIAMETRO AGITADOR (m)	0,75	
ANCHURA AGITADOR (m)	0,125	
DISTANCIA AL FONDO DEL AGITADOR (m)	0,75	
ANCHURA PLACAS DEFELCTORAS	0,25	
VELOCIDAD DE AGITACION (rpm)	100	
POTENCIA CONSUMIDA (kW)	6,33	



ESCUELA de
INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

**HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL TANQUE AGITADO T-102 y
T-103**

PROYECTO		Tratamiento y Gestión de Baños Ácidos de Decapado	
REV.	1	UNIDAD	T-102 y T-103
DATE	Septiembre 2012	DESTINATARIO	Universidad de Valladolid
REALIZADO	Elena Domínguez Hernández	LOCALIZACIÓN	Valladolid (ESPAÑA)

SERVICIO	Almacenamiento de la lechada
CANTIDAD	2 (T-102 y T-103)
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	Acero inoxidable
VOLUMEN (m ³)	21
DIAMETRO (m)	3
ALTURA (m)	3
SISTEMA DE AGITACIÓN	
TIPO DE AGITADOR	Paletas (2 palas planas)
DIAMETRO AGITADOR (m)	1,8
ANCHURA AGITADOR (m)	0,3
DISTANCIA AL FONDO DEL AGITADOR (m)	1,8
ANCHURA DE LAS PLACAS DEFLECTORAS (m)	0,3
VELOCIDAD DE AGITACIÓN (rpm)	30
POTENCIA CONSUMIDA (kW)	4,82



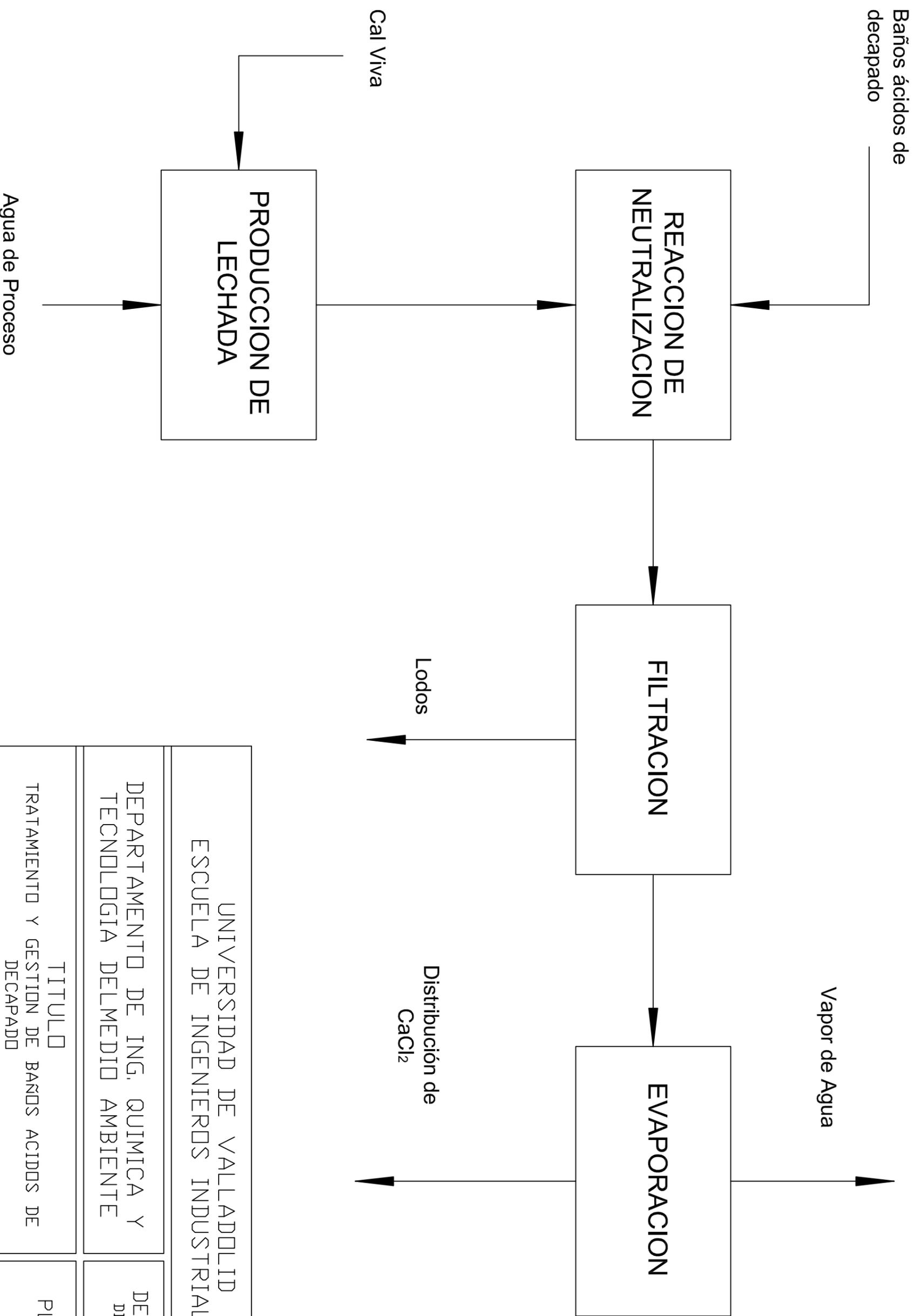
ESCUELA de
INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL TANQUE AGITADO T-104

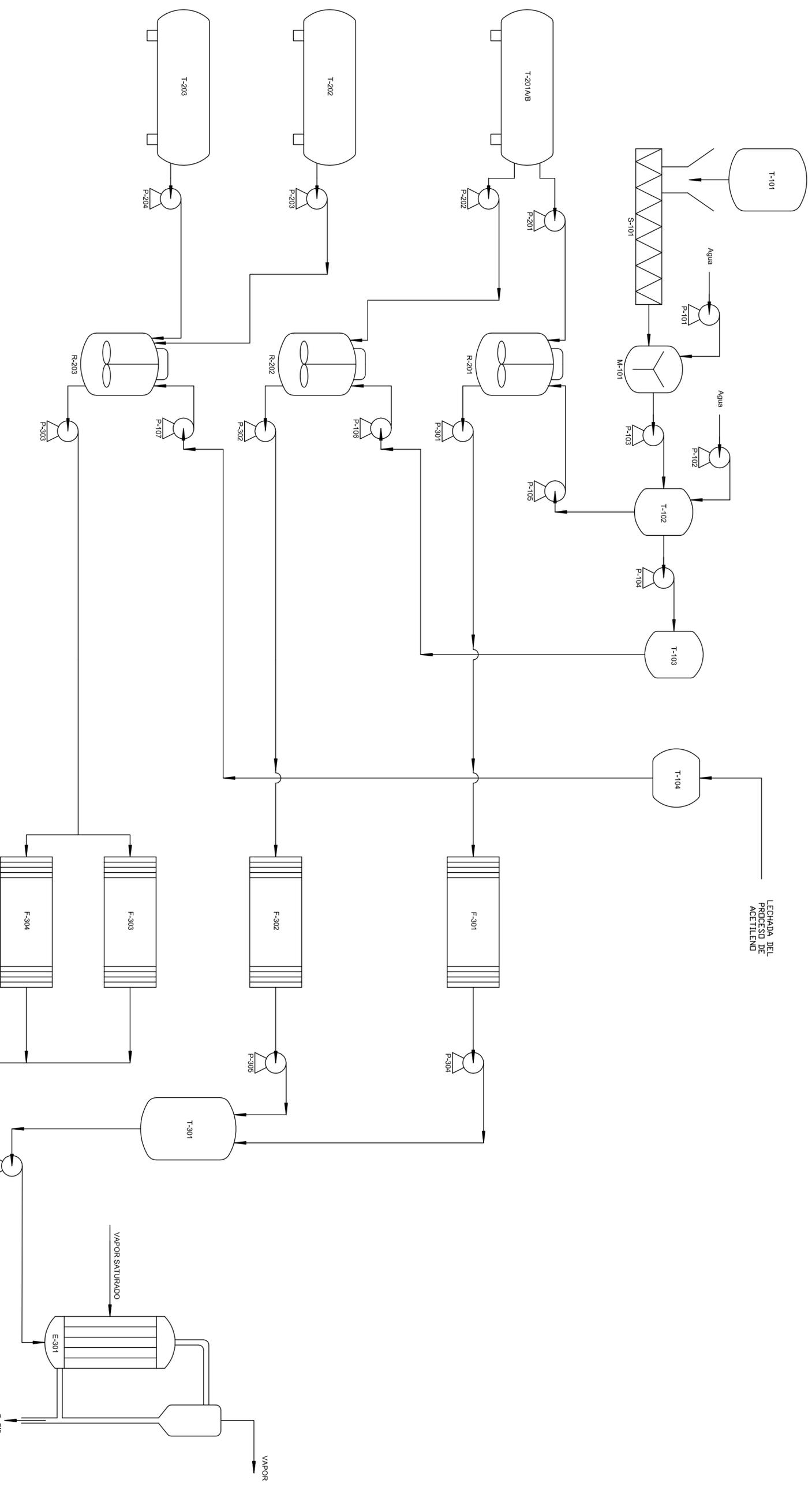
PROYECTO	Tratamiento y Gestión de Baños Ácidos de Decapado		
REV.	2	UNIDAD	T-104
DATE	Septiembre 2012	DESTINATARIO	Universidad de Valladolid
REALIZADO	Elena Domínguez Hernández	LOCALIZACIÓN	Valladolid (ESPAÑA)

SERVICIO	Almacenamiento de la lechada
CANTIDAD	1
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	Acero inoxidable
VOLUMEN (m ³)	14
DIAMETRO (m)	2,5
ALTURA (m)	2,86
SISTEMA DE AGITACIÓN	
TIPO DE AGITADOR	Paletas (2 palas planas)
DIAMETRO AGITADOR (m)	1,5
ANCHURA AGITADOR (m)	0,25
DISTANCIA AL FONDO DEL AGITADOR (m)	1,5
ANCHURA DE LAS PLACAS DEFLECTORAS (m)	0,3
VELOCIDAD DE AGITACIÓN (rpm)	30
POTENCIA CONSUMIDA (kW)	1,94

PLANOS



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	
ESCUELA DE INGENIEROS INDUSTRIALES	
DEPARTAMENTO DE ING. QUIMICA Y TECNOLOGIA DEL MEDIO AMBIENTE	
TITULO	DEN. PLANO DIAGRAMA DE BLDQUES
TRATAMIENTO Y GESTION DE BANDOS ACIDOS DE DECAPADO	PLANO Nº 1
INGENIERA TECNICA ELENA DOMINGUEZ	ESCALA: S/E
FECHA: SEP. 2012	



CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
T-101	Tanque de almacenamiento de cal viva	R-201	Reactor de neutralización agitado no encamisado, 15m3
S-101	Tornillo sin fin de alimentación	R-202	Reactor de neutralización agitado no encamisado, 15m3
M-101	Apagador de cal	R-203	Reactor de neutralización agitado no encamisado, 15m3
T-102	Tanque agitado de almacenamiento de lechada de cal	F-301	Filtro prensa para el baño de HCl, (4 placas)
T-103	Tanque agitado de almacenamiento de lechada de cal	F-302	Filtro prensa para el baño de HCl, (4 placas)
T-104	Tanque agitado de almacenamiento de lechada de cal	F-303	Filtro prensa para el baño de H2SO4, (10 placas)
T-201A	Tanque de almacenamiento de HCl, 40m3	F-304	Filtro prensa para el baño de H2SO4 y HNO3, (12 placas)
T-201B	Tanque de almacenamiento de HCl, 40m3	T-301	Depósito pulmón
T-202	Tanque de almacenamiento de H2SO4, 40m3	E-301	Evaporador de múltiple efecto (3 efectos)
T-203	Tanque de almacenamiento de HNO3, 7.5m3		

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
 ESCUELA DE INGENIEROS INDUSTRIALES

DEPARTAMENTO DE ING. QUIMICA Y
 TECNOLOGIA DEL MEDIO AMBIENTE

TITULO
 TRATAMIENTO Y GESTION DE BANCOS ACIDOS DE
 DECAPADO

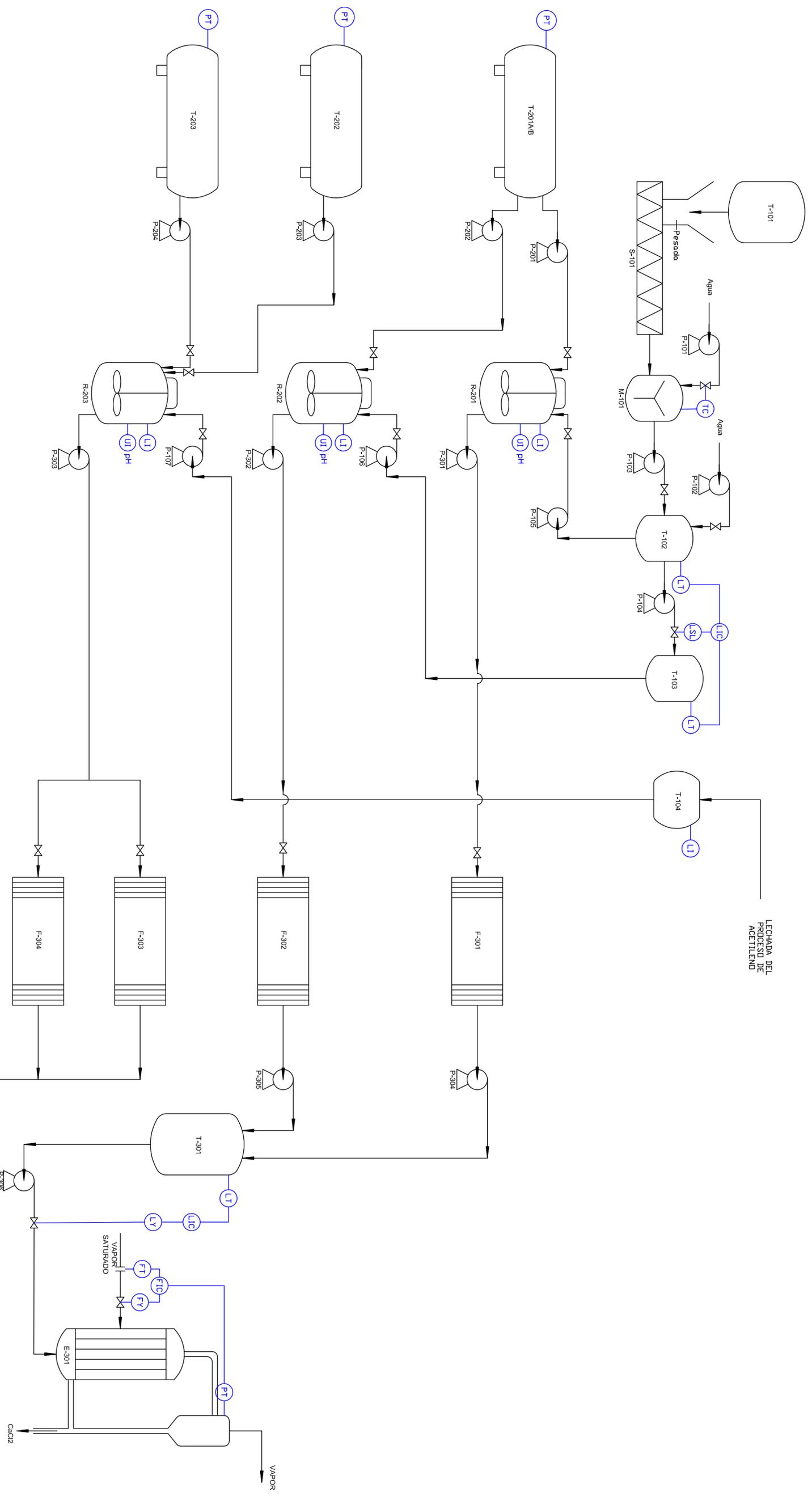
INGENIERA TECNICA
 ELENA DOMINGUEZ HERNANDEZ

DEN. PLANO
 DIAGRAMA DE
 FLUJO

PLANO Nº
 2

ESCALA: S/E

FECHA: SEP. 2012



CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
T-101	Tanque de almacenamiento de cal viva	R-201	Reactor de neutralización agitado no encamisado, 15m3
S-101	Tornillo sin fin de alimentación	R-202	Reactor de neutralización agitado no encamisado, 15m3
M-101	Mezclador apagador de cal	R-203	Reactor de neutralización agitado no encamisado, 15m3
T-102	Tanque agitado de almacenamiento de lechada de cal	F-301	Filtro prensa para el baño de HCl, (4 placas)
T-103	Tanque agitado de almacenamiento de lechada de cal	F-302	Filtro prensa para el baño de HCl, (4 placas)
T-104	Tanque agitado de almacenamiento de lechada de cal	F-303	Filtro prensa para el baño de H ₂ SO ₄ , (10 placas)
T-201A	Tanque de almacenamiento de HCl, 40m3	F-304	Filtro prensa para el baño de H ₂ SO ₄ y HNO ₃ , (12 placas)
T-201B	Tanque de almacenamiento de HCl, 40m3	T-301	Depósito pulmón
T-202	Tanque de almacenamiento de H ₂ SO ₄ , 40m3	E-301	Evaporador de múltiple efecto (3 efectos)
T-203	Tanque de almacenamiento de HNO ₃ , 7.5m3		

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID ESCUELA DE INGENIEROS INDUSTRIALES	
DEPARTAMENTO DE ING. QUIMICA Y TECNOLOGIA DEL MEDIO AMBIENTE	
TITULO TRATAMIENTO Y GESTION DE BANCOS ACIDOS DE DECAPADO	
INGENIERA TECNICA ELENA DOMINGUEZ HERNANDEZ	PLANO Nº 3
ESCALA: S/E	DEN. PLANO DIAGRAMA P&I
FECHA: SEP. 2012	

Zona de almacenamiento de materias primas

Apagado de cal

Zona de almacenamiento de lechada de cal

Zona de almacenamiento de HCl, H₂SO₄ y HNO₃

Reactores de neutralización

Depósito pulmón y evaporador de múltiple efecto

Zona de filtros prensa

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIEROS INDUSTRIALES

DEPARTAMENTO DE ING. QUIMICA Y
TECNOLOGIA DELMEDIO AMBIENTE

DEN. PLANO
DISTRIBUCION EN
PLANTA

TITULO
TRATAMIENTO Y GESTION DE BANDOS ACIDOS DE
DECAPADO

PLANO Nº
4

INGENIERA TECNICA
ELENA DOMINGUEZ

ESCALA: S/E

FECHA: SEP. 2012